

## **Инвестиционные риски и «ловушки роста» в модели Рамсея**

Голуб Александр Александрович - старший научный сотрудник центра экономического моделирования энергетики и экологии ИПЭИ РАНХиГС, 119571, Москва, просп. Вернадского, д. 82, e-mail: email: [alexander.a.golub@gmail.com](mailto:alexander.a.golub@gmail.com)

Поташников Владимир - старший научный сотрудник центра экономического моделирования энергетики и экологии ИПЭИ РАНХиГС, 119571, Москва, просп. Вернадского, д. 82, e-mail: email: [potashnikov.vu@gmail.com](mailto:potashnikov.vu@gmail.com)

### **Аннотация**

Опора российской экономики на сырьевые и энергоемкие сектора может привести к долгосрочной стагнации и попаданию экономики в так называемую ловушку развития. В работе рассмотрена теоретическая модель экономического роста, которая представляет российскую экономику как совокупность двух секторов: первый сектор - это ресурсо- и энергоемкие отрасли прямо или опосредовано связанные с выбросами парниковых газов, второй сектор – это совокупность наукоемких отраслей развивающихся на основе накопления знаний и человеческого капитала. Негативное воздействие формирующейся глобальной климатической политики на углеродоемкие отрасли определяет повышенные инвестиционные риски и высокую стоимость капитала, скорректированную с учетом риска. Для теоретического анализа мы применяем модель экономического роста Рамсея с выпукло-вогнутой производственной функцией. Для анализа инвестиционных рисков мы используем анализ реальных опционов.

**Ключевые слова:** ловушка развития; инвестиционные риски; климатическая политика: вогнуто-выпуклая производственная функция.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Опыт последних 15 лет полностью подтверждает выводы сформулированный в работе Голуба 2004 [1], что дальнейшая ориентация на ресурсные сектора экономики неизбежно приведет к замедлению экономического роста. Предлагавшееся в [1] решение проблемы: использование рентных доходов для финансирования перехода производства и потребления на новые технологии, соответствующие постиндустриальному этапу развития общества и отличающиеся от старых технологий в несколько раз по эффективности производства, воздействию на окружающую среду, использованию природных ресурсов и т.п.. В [1] было показано, что такой переход может быть осуществлен только на основе замещения природного капитала человеческим капиталом, который должен стать для России основным источником экономического роста. Было показано, что наиболее опасным следствием чрезмерного развития ресурсного сектора является замедление темпов накопления капитала в обрабатывающих отраслях и отток рабочей силы в добывающий сектор. Вывод о необходимость переключения Российской экономики на новые технологии, ориентация на цифровую экономику и накопление человеческого капитала не является чем-то новым, противоречащим доминирующей точке зрения. Впервые об этом начали говорить еще в 80-е годы в начале перестройки. В настоящее время это практически хрестоматийный факт. Более того, необходимость диверсификации российской экономики также не вызывает сомнения. Недавно опубликованный доклад Всемирного Банка [2] убедительно доказывает, что ослабление зависимости российской экономики от сырьевого сектора путем диверсификации экономики на основе научноемких технологий – единственная возможная стратегия, обеспечивающая устойчивый рост в условиях декарбонизации мировой экономики и связанных с декарбонизацией сдвигов в спросе на ископаемое топливо и энергоемкую продукцию.

Тем не менее, несмотря на консенсус по поводу необходимости диверсификации и технического обновления, за последние 15 лет зависимость российской экономики от природных ресурсов только увеличилась, и экономика вступила в фазу стагнации. За это время увеличился разрыв между Россией и наиболее развитыми странами измеряемый в терминах ВВП на душу населения. Это говорит о том, что Россия находится в так называемой ловушке развития (development trap). Стагнация экономики, особенно в последние 5 лет происходила на фоне усиления зависимости российской экономики от доходов приносимых эксплуатацией природных ресурсов. Несложный эконометрический

анализ динамики ВВП и рентных доходов подтверждает коинтеграцию показателей роста ВВП и цен на нефть в предыдущие 15 лет [3]. Ориентация на ресурсоемкие сектора экономики привела к исчерпанию традиционных источников роста и даже при существенном увеличении цен на нефть, экономика не выйдет из фазы стагнации.

В данной работе мы проанализируем каким образом российская экономика, все еще обладающая значительным потенциалом высококвалифицированной рабочей силы (по индексу человеческого капитала и по результатам теста PISA, Россия находится на уровне наиболее развитых стран) и инвестиционными ресурсами не смогла вырваться из «гравитационного поля» ловушки развития. Или, выражаясь в терминах модели роста: почему Российская экономика остановилась в более низкой точке равновесия в то время, когда страна обладала ресурсами необходимыми для перехода на траекторию роста обеспечивающего достижение более высокой точки равновесия.

В предыдущих исследованиях [1] [4] [5] мы убедительно показали, что не оптимальное сочетание перехода от старой воспроизводственной структуры к новой воспроизводственной структуре приводит к образованию участков вогнутости агрегированный производственной функции. В этой статье мы рассмотрим выпукло вогнутую форму функции как данный факт и сконцентрируемся на условиях перехода экономики, производство которой описывается выпуклый вогнутый агрегированный функции на более высокую точку равновесия. Для этого нам придётся отказаться от предпосылок модели Солоу связанных с экзогенной нормы накопления. В данной работе мы рассмотрим модель Рамсея, где уровень накопления Капитала и уровень инвестиций определяется эндогенно.

Мы также продемонстрируем как ориентация на добывающие отрасли и углеродоёмкие технологии в российской экономике может привести к продолжительной стагнации в окрестности ловушки развития. Это исследование является продолжением работ по изучению источников роста российской экономики и по изучению роли ресурсной ренты в экономике России и влияния инвестиционного климата на процессы ребалансировки источников роста. При исследовании используется современная методология макроэкономического анализа, позволяющая рассмотреть ситуацию с единственным решением модели оптимального экономического роста.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>2</b>
1. Постановка проблемы.....	5
2. Обоснование выпукло-вогнутой производственной функции .....	6
3. Издержки позднего перехода на инновационный уровень развития.....	8
4. Модель эндогенного роста с выпукло-вогнутая производственной функцией .....	9
5. Модель Рамсея со стандартной производственной функцией .....	12
6. Модель Рамсея с выпукло вогнутой производственной функцией .....	15
7. Переход на более высокую траекторию развития в открытой экономике .....	24
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>27</b>
Приложение. Выпукло-вогнутая производственная функция: Микроэкономические основы возрастающей отдачи от масштаба .....	31

## 1 Постановка проблемы

Согласно неоклассической теории, глобализация и усиление международной конкуренции в долгосрочной перспективе должны приводить к устойчивому повышению производительности, ускорению накопления капитала в странах с относительно низким уровнем капитала на душу населения и, следовательно, к ускоренному развитию менее развитых стран (теория конвергенции). Однако существование ловушки развития (замедление или остановка роста после достижения среднего уровня доходов) является статистически доказанным фактом, описанным в литературе как «клубная конвергенция». Детальное обсуждение причин возникновения ловушек бедности и ловушек развития можно найти в [6]. [7] подробно описывают механизм клубной конвергенции. [8] и [9] представляют исчерпывающие эмпирические подтверждения этой теории базирующейся на не единственности решения оптимальной модели роста [10].

Неоклассические модели роста, например, Солоу, показывают, что бедные страны будут догонять богатые, и в итоге должны достичь примерно одного уровня развития. Это является называется абсолютной конвергенцией. Однако на практике этого не происходит. Но происходит относительная (клубная) конвергенция — это когда страны схожие по характеристикам стремятся к одному уровню развития. Явление, когда страны останавливаются на низком или среднем уровне развития, называется попаданием в ловушку развития.

В литературе по проблемам оптимального роста неоднократно отмечалось, что если агрегированное производство (т.е. ВВП) описывается выпукло вогнутой производственной функцией<sup>1</sup>, оптимальное решение не единственно (см. например, [1] [7]). Не единственность решения приводит к тому, что две экономики, производство которых описывается примерно одинаковыми производственными функциями, могут оказаться на принципиально разных ступенях развития. В данной работе мы рассмотрим, при каких условиях экономика страны стагнирует в окрестности относительно низкой точки равновесия (попадает в ловушку развития), а в каком случае продолжает расти и достигает наивысшей точки равновесия.

---

<sup>1</sup> Обычно функция начинается выпуклым сегментом, затем меняет выпуклость на вогнутость и затем снова выпуклый сегмент. С формальной точки зрения, функция должна начинаться с вогнутого сегмента, что может быть характерно для наименее развитых стран, но для исследований индустриальной экономики следование формальному подходу не обязательно.

Скиба и прочие предположили, что попадание в ловушку развития обусловлено выпукло-вогнuto производственной функцией. Такая структура производственной функции приводит к тому, что для перехода на более высокий уровень развития необходимо накопить достаточный уровень капитала. Экзогенная производственная функция без объяснений причин является основным недостатком этих работ является.

С другой стороны, Шумпетер объяснял инновации на микроэкономическом уровне последовательны освоением новых технологий. Отдача новых технологий описывается с образной кривой. Применение этого подхода на макроэкономическом уровне позволяет дать наглядную интерпретацию выпукло-вогнutoй производственной функции и позволяет произвести дальнейший теоретический анализ с точки зрения факторов, которые определяют попадания стран в ловушку развития.

В работе [1] для теоретического анализа использовалась модель роста Соллоу. Эта модель удобна с точки зрения наглядной интерпретации результатов. В тоже время модель Соллоу обладает рядом недостатков связанных с принятыми в ней упрощениями. Наиболее важная проблема – это экзогенная норма накопления. Основной вклад данной работы заключается в отказе от предположения об экзогенности нормы накопления. Для того чтобы проанализировать барьеры, препятствующие достижению более высокой точки равновесия, мы рассмотрим модель Рамсея. Эта модель дает возможность применить результаты теоретического анализа моделей роста с выпукло-вогнутыми производственными функциями отказавшись от предпосылки о фиксированной норме накопления.

В следующем разделе мы проанализируем модель Рамсея с выпукло вогнutoй производственной функцией.

## 2 Обоснование выпукло-вогнutoй производственной функции

Одним из возможных теоретических обоснований, выпукло вогнutoй производственной функции, является наличие двух мегасекторов. Один из секторов соответствует хорошо освоенным, практически исчерпавшим потенциал роста отраслям экономики. В случае России к таким секторам относятся добывающие и энергоемкие сектора экономики. Второй мегасектор описывает более инновационные сектора экономики, которые имеет значительный потенциал роста. Большинство из этих секторов

экономики в каком-то зачаточном виде представлены на рынке, но скорее находятся на этапе заимствование не самых современных технологий (самые современные находятся у создателей, и являются их конкурентным преимуществом), чем создание собственных с большим уровнем добавленной стоимости. При таком разделение предпосылка об абсолютном замещении капитала является излишни строгой предпосылкой. Действительно, капитал углеродоемких секторов тяжелой промышленности и добывающих секторов мало пригоден использовать для инновационных секторов производства ИТ технологий, фармацевтики и прочих.

Существует два класса причин почему перспективный сектора экономики могли не развиться самостоятельно. К первому классу причин, которые замедляют развитие инновационных секторов: это законодательные ограничения, ограниченный доступ к современным технологиям или провалы рынка, которые ограничивают развития инновационных секторов экономики. Анализ этого класса причин выходит за рамки нашей работы.

Ко второму классу причин относится необходимость начального запаса капитала, при достижении которого эффективность инновационных секторов экономики достигает необходимой экономической эффективности. Отметим, что второй сектор является более инновационным по своей природе и требует постоянного потока новых исследований и разработок, для победы на высококонкурентном рынке новых технологий. Необходимость постоянного потока инноваций, а соответственно и расходов на них, для победы на конкурентном рынке новых технологий, является экономической интерпретацией необходимости накопления минимального уровня капитала для достижения производительности выше, чем у традиционного сектора. Наличие этой предпосылке схоже с работой Ромера [11], в случае возрастающей отдачи инноваций от масштаба.

В случае отсутствия ограничений, описанных выше, инновационный сектор экономики должен был бы развиваться автоматически, подобно быстрой индустриализации, наблюдавшейся во многих странах.

Стилизованное представление производственных функций мегасекторов показана на рисунке 1.

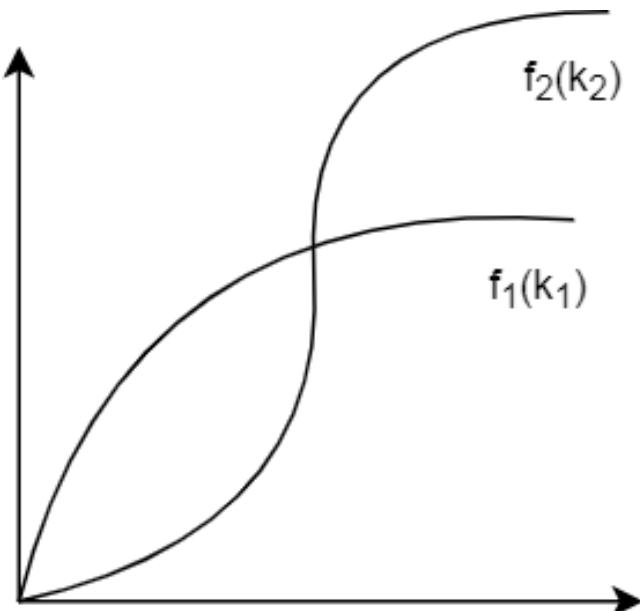


Рисунок 1 – Стилизованная экономика с двумя различными технологиями

Специфичность капитала между этими мегасекторами является одним из источников выпукло-вогнутого характера производственной функции. Действительно, в случае если капитал не может быть переброшен из одного сектора в другой, возникает необходимость аккумулировать капитал в инновационном секторе, без существенной отдачи в выпуске.

### **3 Издержки позднего перехода на инновационный уровень развития**

С учетом специфики капитала поздний переход на инновационное развитие может привести к дополнительным социальным и экономическим потерям. Покажем это на простом примере (см. рисунок 2). На верхнем рисунке показана удельная производственная функция  $f_1(k_1)$  от удельного капитала  $k_1$  уже освоенного мегасектора. Часть из произведенного капитала расходуется замещения выбывшего капитала и компенсирует прирост населения  $(n + \delta)k_1$ . Разница может быть распределена между чистыми инвестициями и потреблением. Дополнительно на рисунке показан график сбережений с постоянной нормой сбережения, который соответствует уровню сбережения нахождения в ловушке развития.

На нижнем графике показан график чистых инвестиций, соответствующей постоянной норме сбережения ловушки развития. Если эти инвестиции распределяются в традиционный сектор, то при попадании в ловушку развития выход из нее довольно проблематичен. В самом деле, аккумулирования капитала в ловушке развитии для инновационного сектора возможно либо за счет сокращения потребления, со всеми

негативными социальными последствиями, либо за счет сокращений инвестиций в традиционный сектор. В последнем случае это приведет к временному сокращению общего выпуска, и как следствие сокращение потребление.

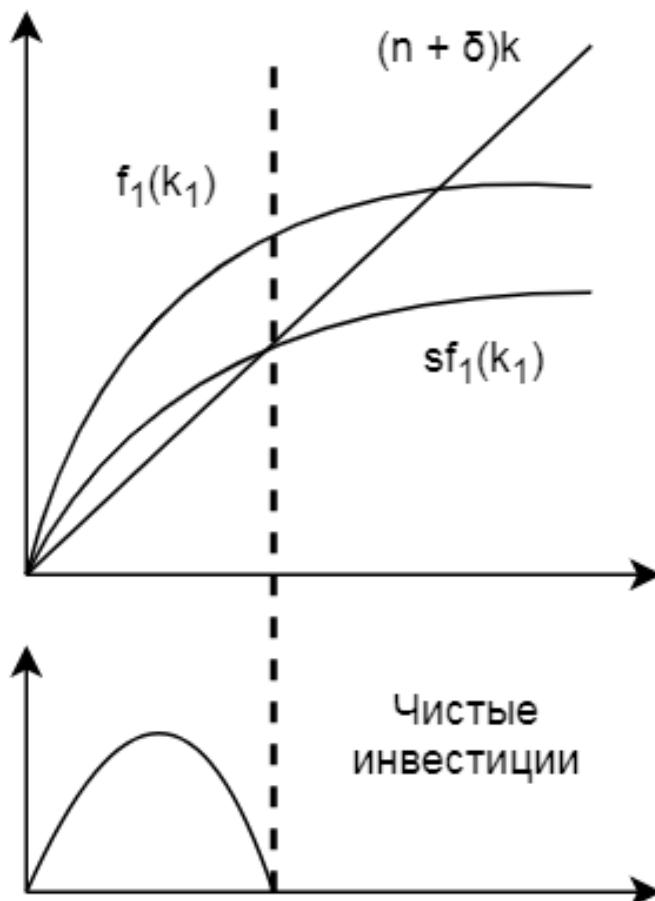


Рисунок 2 – Анализ возможности перехода на инновационный путь развития

Более того, экономика должна переходить к инновационному развитию даже раньше, чем закончится возможность производить чистые инвестиции, так как нужно учитывать амортизацию аккумулированного капитала.

#### 4 Модель эндогенного роста с выпукло-вогнутая производственной функцией

Предпосылки стандартной агрегированной производственной функции экономики:

- Постоянная отдача от масштаба:

$$Y_t \equiv F(K_t, L_t) = \frac{F(K_t, L_t)}{L_t} = F\left(\frac{K_t}{L_t}, 1\right) \equiv f(k_t), \text{ где } k_t \equiv \frac{K_t}{L_t}.$$

- $f(k_t) \geq 0, f'(k_t) > 0, f''(k_t) < 0$

Одним из возможных объяснений наличия ловушек развития является выпукло-вогнутая производственная функция. Дальнейший анализ будет сфокусирован на формальном исследовании экономики, описываемой выпукло-вогнутой производственной функцией. Вообще существует множество способов задания такой функции, но использование композиции стандартной производственной функции и S образной кривой существенно удобней для последующего анализа, и позволяет дать экономическую интерпретацию полученных результатов. Производственная функция записывается в виде:

$$f(k_t) = a(k_t) * g(k_t), \text{ где}$$

$g(k_t)(g(k_t) \geq 0, g'(k_t) > 0, g''(k_t) < 0)$  стандартная производственная функция, и

$a(k_t)$  - S образная кривая, далее в работе называемой кривой технического прогресса, которая формально представляется в виде (1).

$$a(k_t) = A + \frac{B - A}{1 + \exp(-\beta(k_t - k_*))} \quad 1)$$

где  $k_*, \beta, A, B > 0$ . График S – образной кривой, ее производная показана, и производная агрегированной производственной функции показана на рисунке 3.

Экономическая интерпретация параметров S образной кривой:

A – уровень технического прогресса соответствующий существующей (уже освоенной) производственной технологии страны. В случае России к этим технологиям относятся энергоемкие и добывающие сектора и другие сектора экономики, которые практически израсходовали потенциал роста. Параметр A не обязательно постоянен во времени, и может изменяться во времени. Например, исчерпание месторождений нефти может снизить A, а технический прогресс увеличить. Однако в связи с ростом конкуренции со стороны других стран, и общим ростом технического прогресса в долгосрочном периоде параметр технического параметра A должен снижаться относительно уровня технического прогресса остальных стран;

B – уровень технического прогресса соответствующий более производительным (инновационным) секторам экономики;

$k_*$  – характеризует уровень капитала, при котором технический прогресс достигает величины  $\frac{B+A}{2}$ , то есть половина от роста потенциала производительности достигнута. С экономической точки зрения нас больше интересует что чем выше этот параметр, тем позже наступают положительные эффекты от освоения более совершенной технологии;

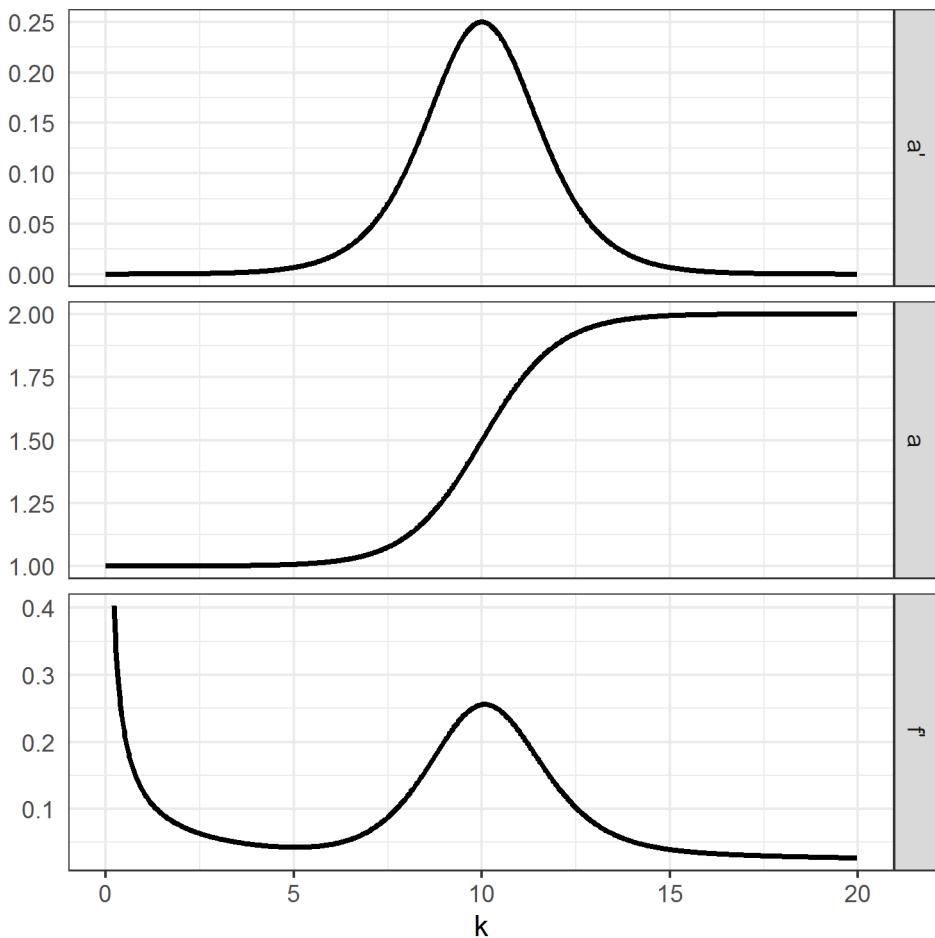


Рисунок 3 – S – образная кривая, ее производная и производная агрегированной производственной функции.

$\beta$  – характеризует скорость перехода к новой технологии. При низком значении параметра  $\beta$  положительные эффекты от освоения более совершенной технологии наступают раньше, но рост происходит с меньшими темпами.

Параметры  $\beta$  и  $k_*$  не очень подходят для непосредственного анализа, так как могут ввести в заблуждения, или привести неправильным выводам. Например, при увеличении параметра  $\beta$  положительные эффекты от освоения новой технологии наступают раньше, но при этом снижается потребление во второй точке оптимума. Отсюда следует вывод что правительству надо сначала увеличивать  $\beta$ , а затем при переходе через критическую точку снижать, что противоречит здравому смыслу. Для получения более интерпретируемых результатов лучше использовать характерные уровни капитала, при котором начинаются освоение более продуктивной производственной функции, и при которой она уже освоена. Примем уровни  $k_{0.1}$  и  $k_{0.9}$  при которых  $a(k_t)$  достигает  $0.9A + 0.1B$  и  $0.1A + 0.9B$  в

качестве характерных. В формуле (1) представлена вычисление характерного уровня капитала.

$$k_\alpha = k_* + \frac{1}{\beta} \log \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (2)$$

## 5 Модель Рамсея со стандартной производственной функцией

Прежде чем перейти к анализу экономики с выпукло-вогнутой производственной функцией, рассмотрим решение задачи Рамсея со стандартной производственной функцией с постоянной отдачей от масштаба (3).

$$f(k_t) \equiv F(K_t, L_t)/L_t = F\left(\frac{K_t}{L_t}, 1\right) \quad (3)$$

где  $\delta$  - амортизация капитала;

$n$  – темп роста трудоспособного населения.

В случае постоянного темпа роста населения и постоянной нормы амортизации в закрытой экономике произведенный продукт распределяется на потребление, накопление и амортизацию. В свою очередь, накопления включают инвестиции на увеличение капитала на одного работника и инвестиции, которые обеспечивают дополнительную занятость. Тогда учитывая (4), (5) и (6), получим уравнение для расчета подушевого капитала (7):

$$Y_t \equiv F(K_t, L_t) = C_t + \frac{dK_t}{dt} + \delta K_t \quad (4)$$

$$\frac{F(K_t, L_t)}{L_t} = \frac{C_t}{L_t} + \frac{dK_t}{dt}/L_t + \delta K_t/L_t \quad (5)$$

$$\frac{dK_t}{dt}/L_t = \frac{d(L_t * K_t/L_t)}{dt}/L_t = \frac{d(L_t * k_t)}{dt}/L_t = k_t \frac{dL_t}{dt}/L_t + L_t \frac{dk_t}{dt}/L_t = n * k_t + dk_t \quad (6)$$

$$\frac{dk_t}{dt} = f(k_t) - c_t - (n + \delta)k_t \quad (7)$$

Далее выведем уравнение динамики потребления при использовании предпосылки о центральном планировщике, которые максимизирует дисконтированную полезность (8) при условии (9).

$$\max \int u(c_t) \exp(-\theta t) \quad (8)$$

$$\frac{dk_t}{dt} = f(k_t) - c_t - (n + \delta)k_t \quad (9)$$

Сформулируем условия для выбора оптимальной траектории используя принцип максимума Понтрягина. Для этого запишем Гамильтониан (10), тогда условия максимума будут (11), без учета условий трансверсальности.

$$H = u(c_t) \exp(-\theta t) + \mu_t(f(k_t) - c_t - (n + \delta)k_t) \quad (10)$$

$$\frac{\partial H}{\partial c_t} = 0, \frac{d\mu_t}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial k_t} \quad (11)$$

Тогда оптимальный темп роста потребления (12).

$$\frac{dc_t}{dt}/c_t = -\frac{u'(c_t)}{u''(c_t)c_t}(f'(k_t) - \theta - n - \delta) \quad (12)$$

Для анализа удобно рассмотреть с-к кривую (см. рисунок 4). Пунктиром показана линия постоянного капитала по времени ( $\frac{dk_t}{dt} = 0$ ), полученная из уравнения (9). Приведем краткое обоснование вида кривой. При стандартных предпосылках о  $f(k_t)$ , существует точка пересечения с осью  $c_t$ : при  $k_t = 0$ , и при  $f(k_t) = (n + \delta)k_t$ , в промежутке  $f(k_t) > (n + \delta)k_t$ .

Вертикальная линией показано множество точек с постоянным потреблением ( $\frac{dc_t}{dt} = 0$ ), полученная из (12). Линия  $\frac{dc_t}{dt} = 0$  находится левее экстремума кривой  $\frac{dk_t}{dt} = 0$ , так как условие экстремума  $f'(k_t) = n + \delta$ .

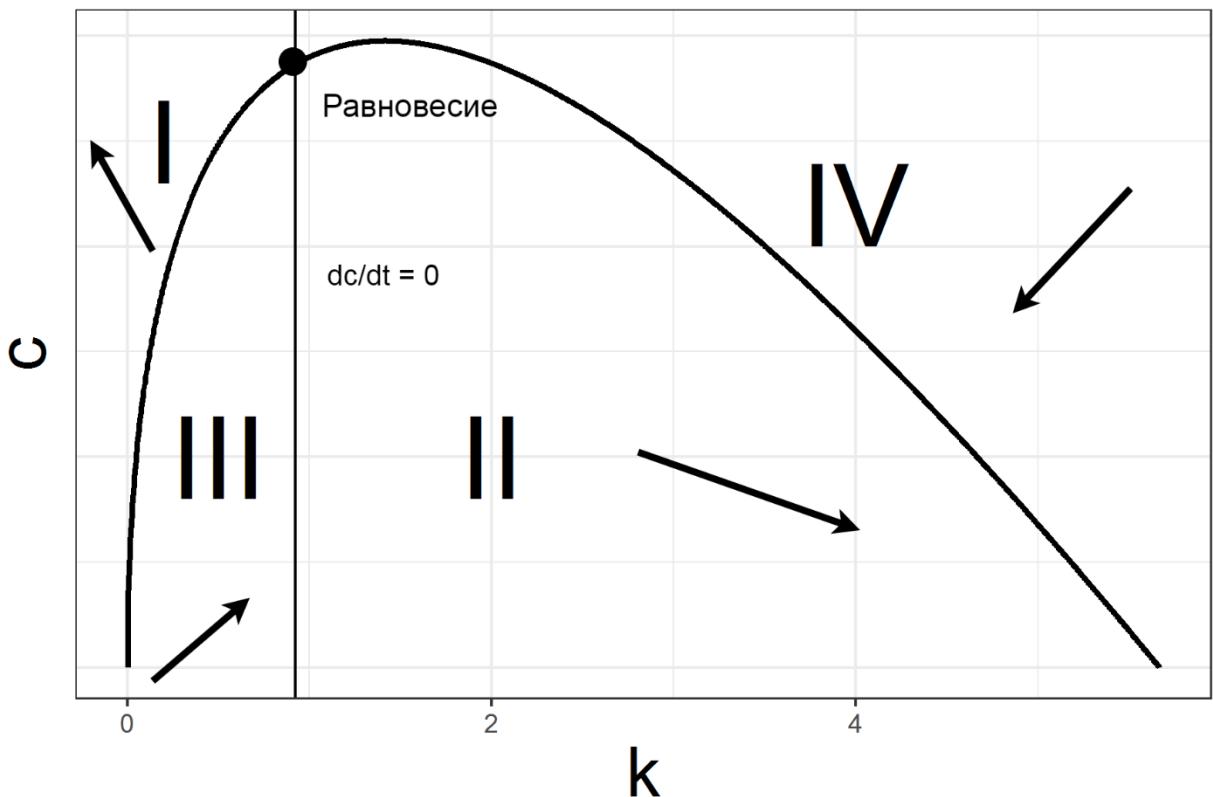


Рисунок 4 – Фазовая диаграмма с-к для стандартной производственной функции

Кривые  $\frac{dc_t}{dt} = 0$  и  $\frac{dk_t}{dt} = 0$  делит рисунок на 4 области, в каждой из которых определён знак производной по времени потребления и капитала. Направление капитала и потребления показана стрелками на графике. Проанализируем возможные траектории на этом графике:

- I - Неустойчива, так как приводит к ситуации  $k_t = 0$ , и следующим шагом  $c_t = 0$ ;
- II - Неустойчива, так как приводит к ситуации  $c_t = 0$ ;
- III область, где находится большинство стран, траектории должны проходить либо в равновесие, либо в одну из неустойчивых областей (I или II);
- IV - Траектории должны проходить либо в равновесие, либо в неустойчивые области I и II.

Итого, состояние экономики в условиях совершенного предвидения, может переходить только в точку пересечения кривых  $\frac{dc_t}{dt} = 0$  и  $\frac{dk_t}{dt} = 0$  – точку равновесия, иначе произойдет переход в недопустимое состояние нулевого потребления.

## 6 Модель Рамсея с выпукло вогнутой производственной функцией

В данном разделе мы проведем теоретический анализ модели Рамсея с выпукло вогнутой производственной функцией. В предыдущем разделе мы обсудили структурные вопросы, приводящие к возникновению участков выпуклости и вогнутости производственной функции. В этом разделе мы рассмотрим наличие участков выпуклости и вогнутости на исходную предпосылку анализа модели Рамсея и сконцентрируемся на эндогенных процессах накопления капитала.

Применим математический аппарат, сформулированный ранее, для анализа экономики с выпукло-вогнутой агрегированной производственной функцией. Для этого построим с-к кривую, подобно построенной ранее. Наличие дополнительной моды предельной производственной функции приводит к двум эффектам: дополнительному перегибу кривой  $\frac{dk_t}{dt} = 0$  и значений  $c_t$ , при котором выполняется условие  $\frac{dc_t}{dt} = 0$  может быть от одного до трех.

В случае если условию  $\frac{dc_t}{dt} = 0$  удовлетворяет один или два уровня потребления, то картина принципиально не меняется, так как фактически останутся только четыре доступные области, подобно стандартной выпуклой функции. Если пересечения три, то кривая с-к делится на 6 областей (см. рисунок 5):

- I' Приводит либо ко второй точке равновесия, либо в неустойчивую области II' или в область V', из которой можно попасть в равновесие 1;
- II' Неустойчива, так как приводит к ситуации  $c_t = 0$ ;
- III' область, где траектории должны проходить в неустойчивую области II' или в область V', из которой можно попасть в равновесие 1;
- IV' область все траектории которой попадают V', из которой можно попасть в равновесие 1;
- V', которая соответствует IV области рисунка 4, где траектории должны проходить либо в равновесие 1, либо в неустойчивые области VI' и VIII';
- VI', которая соответствует IV области рисунка 4, неустойчива, так как приводит к ситуации  $k_t = 0$ , и следующим шагом  $c_t = 0$ ;
- VII', которая соответствует II области рисунка 4, приводит к равновесию 1, либо в неустойчивые области VI' и VIII';
- VIII' неустойчива, так как в этой области потребление должно устойчиво снижаться по времени. Если оптимальная траектория, при которой потребление снижается на существенном отрезке времени, и существует, то

только с точки зрения математики, так как это противоречит здравому смыслу и экономической интуиции.

Напомним, что при выборе оптимальной политики центральный планировщик может варьировать только уровень потребления, принимая текущий уровень капитала как данность. Таким образом попадание в равновесие 2, с более высоким уровнем потреблением, возможно только из областей I' и III', то есть после достижения капитала соответствующему второму уровню  $\frac{dc_t}{dt} = 0$ , и не возможно для стран с меньшим уровнем капитала.

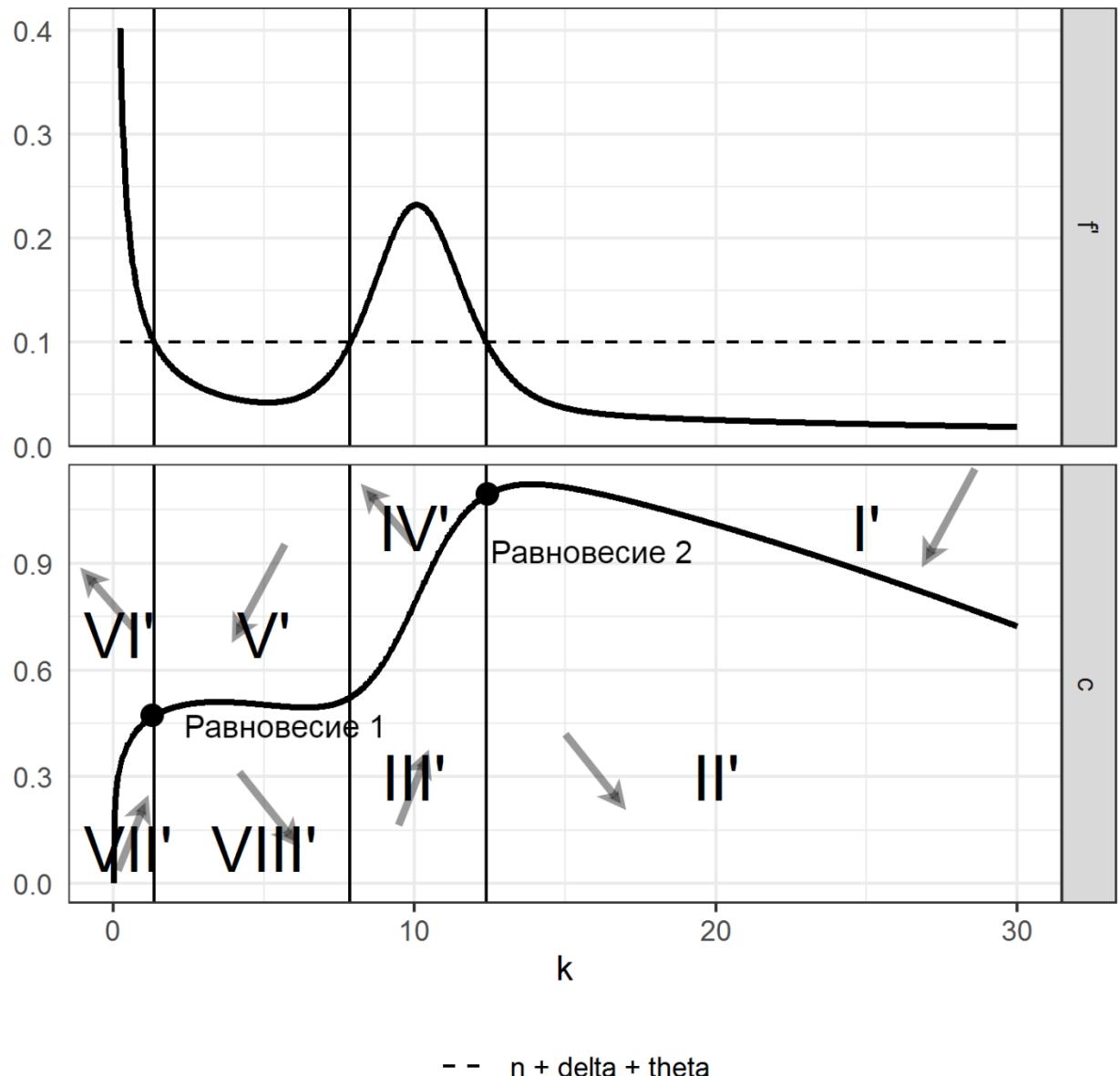


Рисунок 5 – Фазовая диаграмма  $c$ - $k$  для выпукло вогнутой производственной функции

## **Условия перехода в верхнюю точку равновесия**

Наиболее интересным вопросом является изучение условий перехода на более высокую траекторию развития. Как мы установили выше, условия перехода определяются экзогенными и эндогенными параметрами модели. Ниже мы перечислим, а затем подробно проанализируем их влияние в ключевых параметров модели на процесс перехода к более высокой точке равновесия. Переход на более высокую точку равновесия может быть осуществлен за счёт следующих действий:

- Снижение внутреннего дисконта  $\theta$ ;
- Рост перспективности инновационной технологии  $B$ ;
- Снижение производительности существующей технологии  $A$ ;
- Более плавный переход к новой технологии  $\beta$ ;
- Снижение порогового уровня капитала  $k_*$ ;

Возможно рассмотреть изменение порогового уровня капитала  $k_{0,1}$  и  $k_{0,9}$  вместо параметров  $\beta$  и  $k_*$ . Ниже мы подробно разберем влияние каждого параметра на процесс перехода экономики на более высокую точку равновесия.

### **Снижение внутреннего дисконта $\theta$**

Ставка  $\theta$  – внутренняя норма дисконтирования. При прочих равных в условиях неопределенности  $\theta$  должно расти. Если домохозяйства не уверены в своей безопасности или сохранности сбережений и инвестиций, то они предпочтут потреблять раньше за счет будущих потреблений.

Чем выше  $\theta$ , тем выше синяя линия, и шире коридор, когда потребление снижается по времени, на пути достижения более высокой точки равновесия.

Отсюда вывод, что повышение доверия и снижение неопределенности в будущем критически важно для перехода в верхнюю точку равновесия, даже в условиях, когда этот переход возможен. Но снижение  $\theta$  может быть недостаточно, если экономическая политика приводит к росту порогового уровня капитала  $k_*$ .

### **Снижение порогового уровня капитала $k^*$**

Напомним, что формально анализ модели роста проводится без учёта микро структуры экономики. Величина капитала представляет собой агрегированные значение затрат на единицу рабочей силы. Выше мы абстрагировалась от роста трудовых ресурсов и от нормирование общее количество рабочей силы вылеченный в экономику. В реальной

практике распространения новый технологии требует более квалифицированные рабочие силы. Недостаток рабочей силы соответствующей квалификации приводит к дополнительным затратам на обучение подготовку кадров. В агрегированный модели эти затраты также включены величину  $k_*$ . Другой причиной роста  $k_*$  может являться субсидирование ресурсоемкого сектора, что должно привести к дополнительным прямым или косвенным издержкам на остальные сектора экономики.

При снижении порогового капитала переход на инновационный путь развития происходит раньше. На рисунке 6 показана фазовая диаграмма с-к при различных уровнях порогового капитала  $k_*$ . При  $k_* = 10$  существует полоса, где потребления снижается во времени. Горизонтальная линия  $f'(k_t) = \theta + n + \delta$ . Вертикальные линии соответствуют уровням капитала, при котором  $f'(k_t) = \theta + n + \delta$ , при  $k_* = 10$ .

При снижении  $k_*$  первый экстремум  $f'(k_t)$  смещается влево вверх, и соответствующая область  $\frac{dc_t}{dt} < 0$  сужается. При достижении  $k_* = 5$  область исчезает, и происходит переход в верхнюю точку достигается автоматически.

Отметим, что если  $\theta$  вырастет, то область  $\frac{dc_t}{dt} < 0$  снова появится. То есть необходимо и снижение  $\theta$  и снижение  $k_*$ .

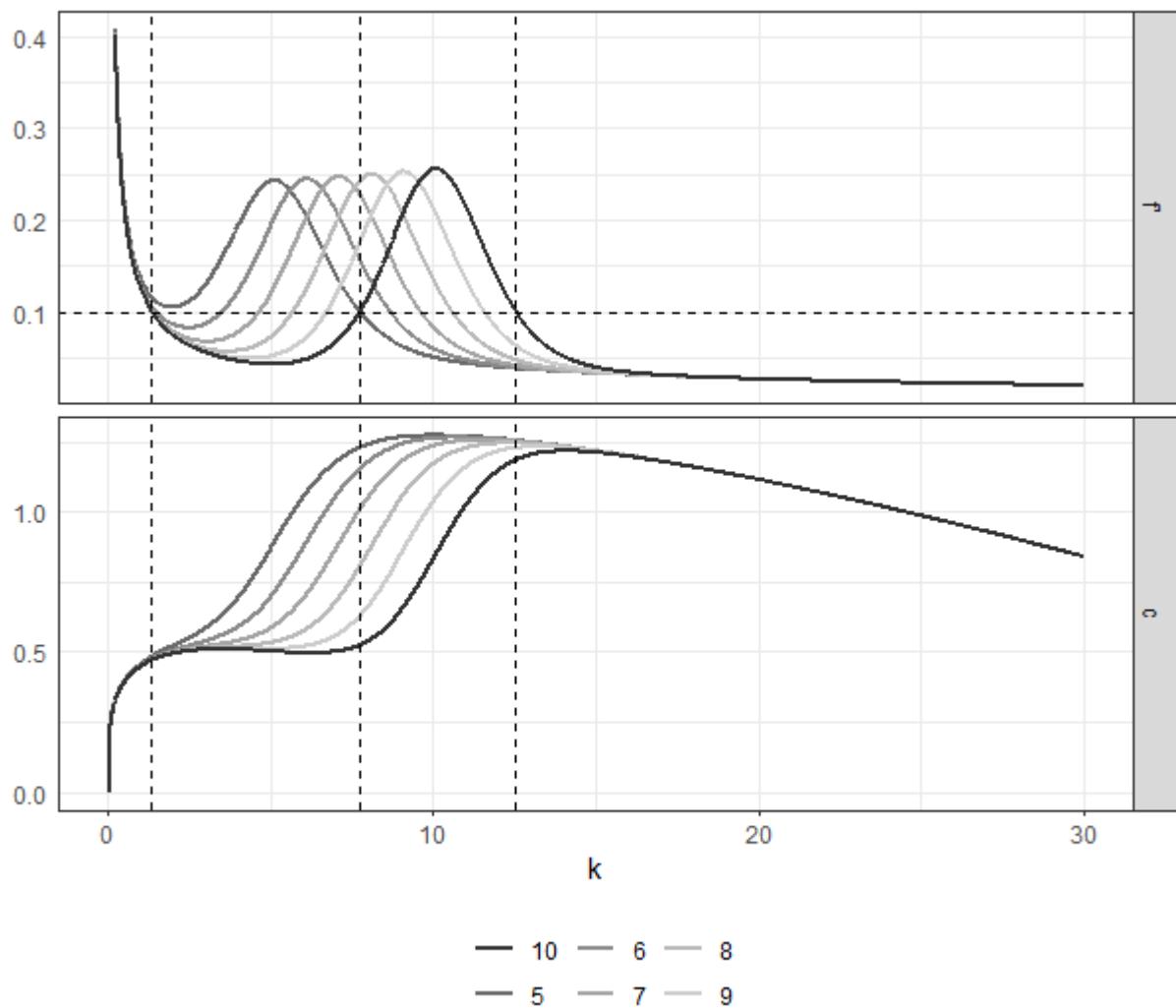


Рисунок 6 – Фазовая диаграмма  $c$ - $k$  при различных уровнях порогового капитала  $k^*$

### **Рост перспективности инновационной технологии В**

Может ли рост перспективности (или попытка освоить более продуктивную технологию) существенно облегчить переход в верхнюю точку равновесия? На рисунке 7 показаны кривые для различных значений параметра  $B$ . Значительный рост выпуска при переходе с низкой точки развития в верхнюю Пик растет, а полоса  $\frac{dc_t}{dt} < 0$  совсем немного сужается. Иными словами, продуктивность новых технологий, практически никак не влияет на переход экономики на более высокую точку равновесия и не на много повышает шансы выхода экономики из ловушки развития.

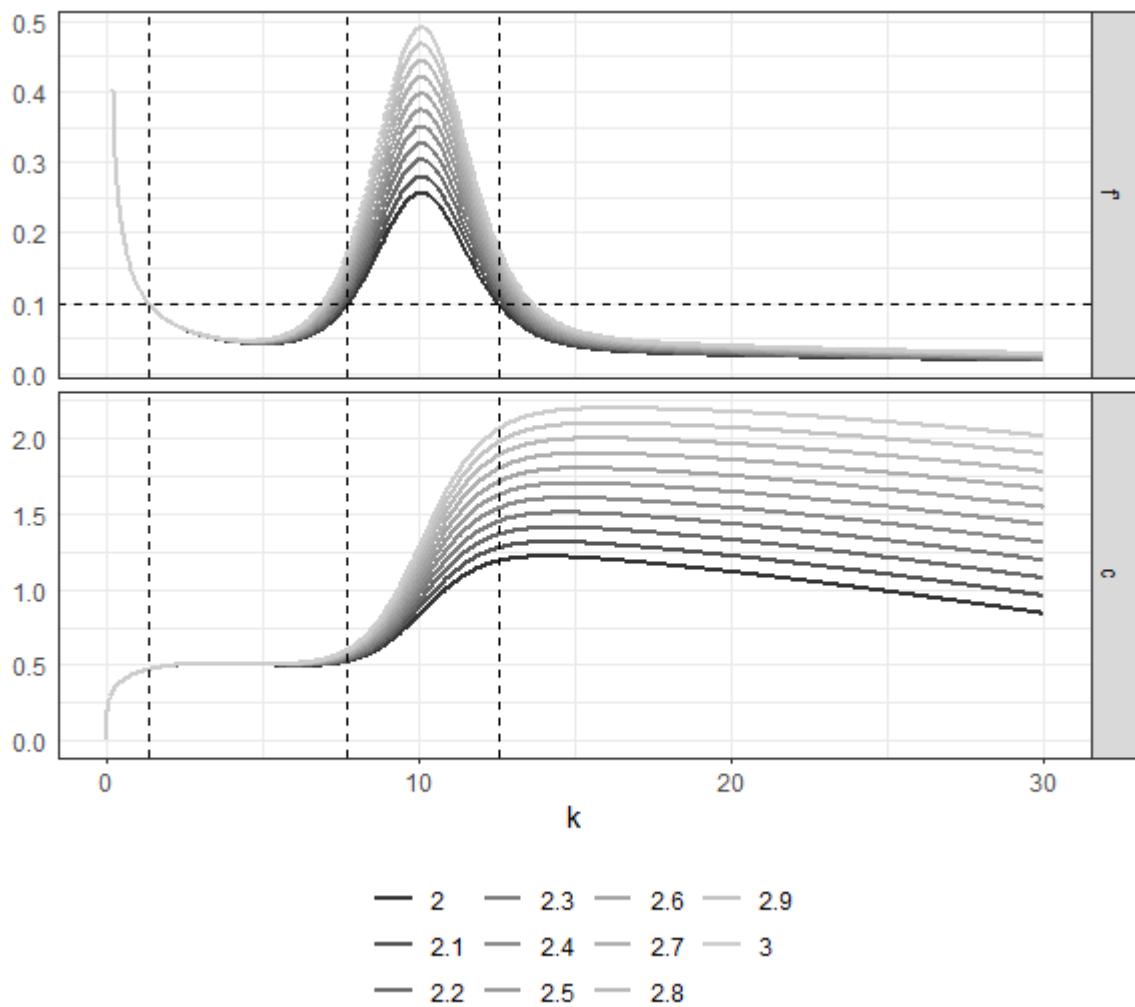


Рисунок 7 – Фазовая диаграмма с-к при различных уровнях параметра В

Этот, казалось бы, контр интуитивный вывод, на самом деле хорошо объясняет ситуацию в наименее развитых странах. Современные технологии в принципе доступны для использования в любой точке земного шара. Однако массовое распространение этих технологий осуществляется только в наиболее развитых странах, которые могут обеспечить мобилизация капитала и квалифицированных трудовых ресурсов. Поэтому стратегия импорта передовых технологий, которая безусловно является необходимым условием перехода на более высокую траекторию развития, не является достаточным условием этого перехода. Необходимым и достаточным условием перехода является наличие квалифицированной рабочей силы и способность институтов мобилизовать капитальные ресурсы. Поэтому прежде всего необходимо создавать условия для сокращения как экспорта капитала, так и экспорта наиболее квалифицированные рабочие силы.

## Снижение производительности существующей технологии А

При снижении базового уровня производительности, производная  $f(k_t)$  слева уменьшается, и как следствие равновесие смещается в сторону меньшего потребления, а полоса с отрицательной динамикой потребления увеличивается (см. рисунок 8).

То есть чем хуже перспективы существующей производственной структуру, тем сложнее и мало вероятнее перейти в более инновационную точку равновесия (бедность закрепляется).

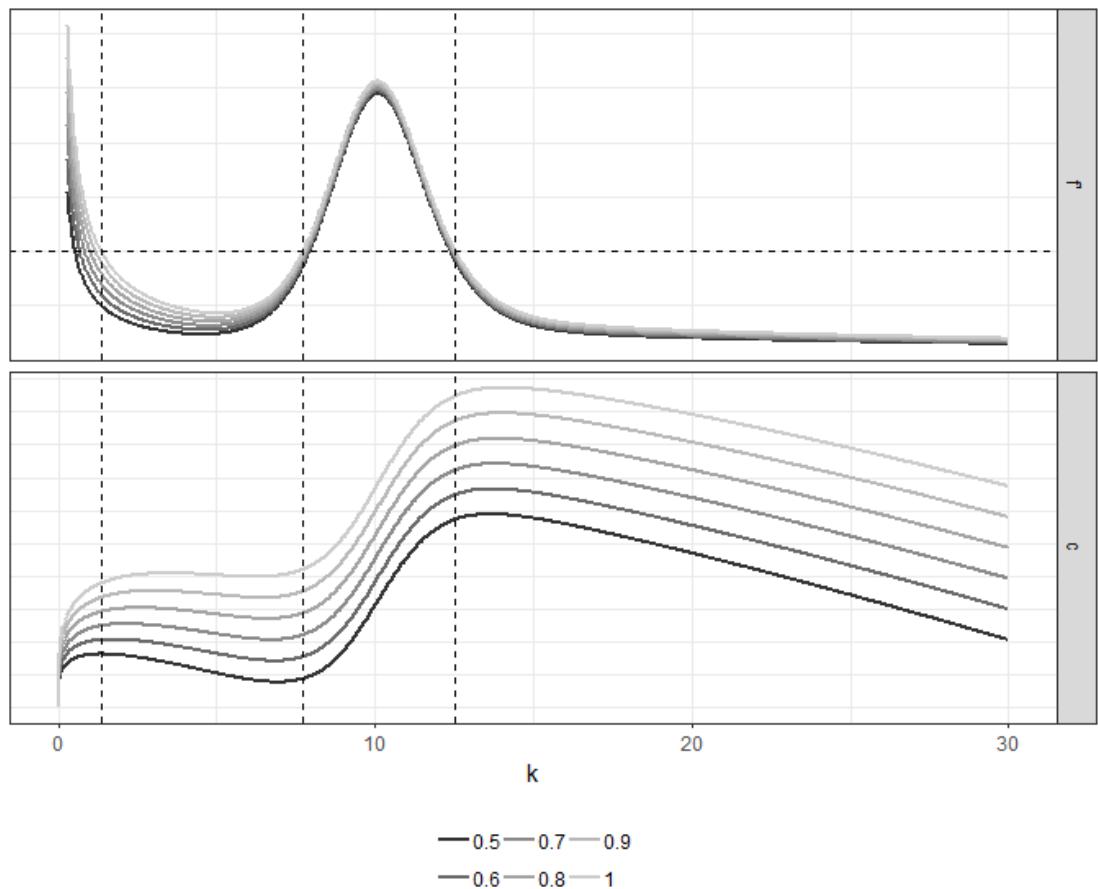


Рисунок 8 – Фазовая диаграмма с-к при различных уровнях параметра А

Этот вывод просто напоминает о том, что процесс целенаправленного перехода к более высокой точке равновесия лучше всего осуществлять, когда страна имеет достаточное потенциал рентных ресурсов приносимых старый воспроизводственной структурой, ориентирующиеся на эксплуатацию и экспорт углеводородного топлива и минерального сырья. Собственно говоря, об этом писалось в работе (1). В течение 15 лет с момента публикации [1] российская экономика так и не смогла мобилизовать рентные доходы для осуществления перехода на более высокую траекторию развития. Учитывая

меняющиеся условия мировой экономики, во многом обусловленные процессами ее декарбонизации, шансы России использовать рентные доходы на осуществление перехода к более высокой точке равновесия со временем сокращаются.

### **Более плавный переход к новой технологии $\beta$**

Коэффициент  $\beta$  определяет степень вогнутости производственной функции. Как было показано выше наличие участков вогнутости агрегированный производственные функции объясняется отклонением от идеального режима перехода от одной воспроизводственной структуры в другой. Если бы соблюдались идеальные условия мобильности капитала и рабочей силы, отсутствие инвестиционных рисков и т.п., то агрегированное производство описывалось по линейной функции. Однако в реальной жизни ни одно из этих условий не соблюдается. Поэтому и возникают участки вогнутости производственные функции приводящие, как мы говорили выше не единственности равновесного решения. Да какой ты степени целенаправленное долгосрочная стратегия развития может частично сгладить участки вогнутости агрегированный производственной функции. Применительно к российской экономике такая политика означало бы снижение поддержки добывающих отраслей и использования арендных доходов для субсидирования аккумуляция капитала и трудовых ресурсов в наукоемких секторах. Тем не менее опыт последних лет демонстрирует что основные меры государственной поддержки осуществлялись именно в ресурсных секторах что на анализ лет способствовало замедление развития Российской экономики и препятствовала её выходу из ловушки развития. На рисунке 9 показана фазовая диаграмма с-к при различных уровнях параметра  $\beta$ .

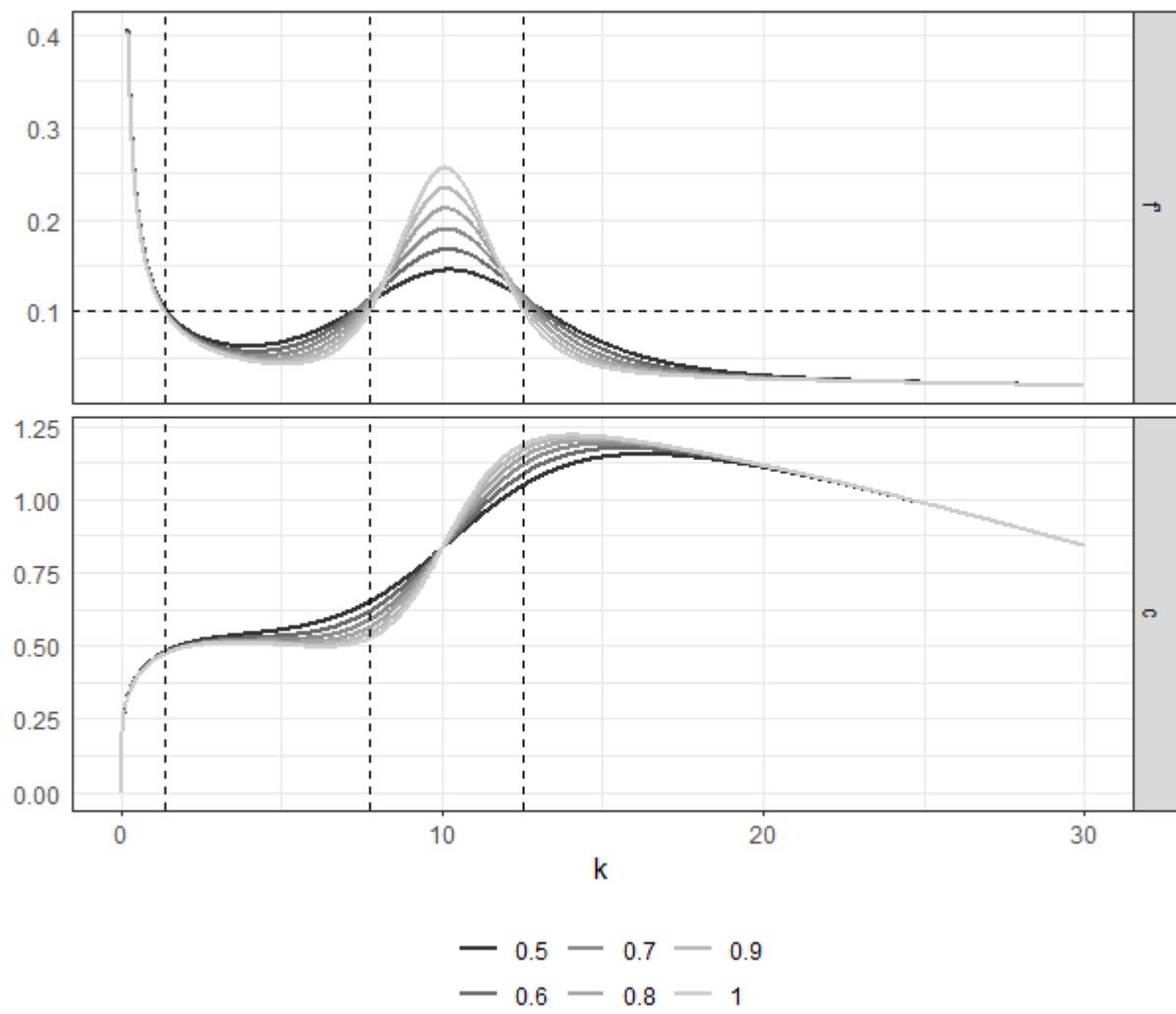


Рисунок 9 – Фазовая диаграмма  $c$ - $k$  при различных уровнях параметра  $\beta$

Итак, как показал анализ теоретической модели, инвестиционные риски, отраженные в величине  $\theta$  и в величине  $k^*$  играют решающую роль в определении траектории развития экономики. Снижение этих рисков увеличивает склонность к накоплению (снижение  $\theta$ ), а также сокращает величину  $k^*$ , сужая зону перехода, соответствующую периоду времени, когда потребление не растёт или сокращается.

Амортизация капитала также играет важную роль в определении траектории развития экономики. Увеличение нормы амортизации под воздействием внешних факторов, как например, изменение климата, также является дополнительным барьером для перехода к более высокой точке равновесия.

## **7 Переход на более высокую траекторию развития в открытой экономике**

Наличие участков вогнутости у агрегированной производственной функции, приводящее к множественности равновесного решения само по себе не является причиной стагнации экономики в окрестности ловушки развития. Увеличивая норму накопления общество может обеспечить переход к наиболее высокой точке равновесия. Тем не менее, норма накопления может увеличиваться только до определенных пределов. Как мы уже упоминали выше, наличие точек Скиба (или как их еще называют DNS-точками) устанавливает определенные эндогенные пороги увеличения нормы накопления. Более того, в открытой экономике норма накопления не обязательно совпадает с нормой инвестиций. Экспорт капитала приводит к тому, что при сравнительно высокой норме накопления инвестиции могут оставаться на сравнительно низком уровне (в закрытой экономике норма инвестиций совпадает с нормой накопления капитала). Высокие инвестиционные риски приводят к сокращению инвестиций. В этом разделе мы проанализируем как инвестиционные риски влияют на норму инвестиций.

В закрытой модели Рамсея инвестиции равны сбережениям. Любые инвестиционные риски приводят к тому, что потребление увеличивается, а инвестиции снижаются. По мере увеличения Потребления его предельная отдача сокращается. Соответственно придельной отдаче инвестиций относительно придельной отдачи потребления увеличивается и в конце концов даже при высоких инвестиционных рисках значительное количество инвестиции направляются в экономику. В открытой модели инвестиции как правило не равны сбережениям. Причина заключается в том, что в открытой экономики нарушаются условия равенства придельный отдача инвестиций и придельный полезности потребления. В экономике со сравнительно высоким потенциалом для накопления и высокими инвестиционными рисками как правило наблюдается значительный экспорт капитала. Напротив, в экономике со сравнительно низкими инвестиционными рисками, а также ограниченными возможностями для накопления капитала наблюдается приток внешних инвестиций. Анализ динамики инвестиций в российскую экономику и экспорта капитала, а также анализ динамики рентных доходов показывает, что российская экономика описывает первой моделью, то есть для российской экономики был характерен экспорт капитала. Значительные инвестиционные ресурсы не были задействованы в российской экономике. В то же время уровень потребления, особенно в последние годы оставался на сравнительно низком уровне. Таким образом, по косвенным признакам можно заключить, что российская экономика являлась весьма рискованный сферой для инвестиций. Экспорт капитала составлял несколько процентов от валового продукта что в

совокупности со сравнительно низким уровнем накопления капитала около 22 % от ВВП нетипично для стран с быстрым развивающейся экономикой. Кроме того, наши ретроспективные исследования инвестиций в энергетику России подтверждают данные наблюдения. Как нами было установлено фактический уровень, требуемый отдачи инвестиции в энергетическом секторе на протяжении последнего десятилетия, был около 40-45% [12]. Для сравнения средний возврат на инвестиции Соединённых Штатах был на уровне 10-12 % в то время как средневзвешенная стоимость капитала составляла около 6%. Таким образом, высокая степень инвестиционных рисков являлась основным препятствием для накопления капитала на уровне необходимом для перехода Российской экономики на более высокую траекторию развития.

Поясним это на модели Рамсея абстрагировавшись от доходов, приносимых трудовыми ресурсами (заработной платы) и амортизации капитала, но введя возможность экспортации капитала.

Уравнение Эйлера имеет следующий вид:

$$r = \rho - \left( \frac{U''(C)C}{U'(C)} \right) \frac{\dot{C}}{C} \quad (13)$$

Для функции полезности с постоянным относительным неприятием риска (CRRA) выражение (13) трансформируется в (14):

$$r = \rho + \eta g \quad (14)$$

где  $\eta$  обозначает коэффициент относительного неприятия риска и  $g$  рост потребления. В литературе, величину  $r$  в выражении (14) называют ставкой дисконтирования Рамсея (Ramsey discount rate).

Сбережения должны быть инвестированы в производство обеспечивая предельную доходность, равную требуемой доходности по накопленным активам плюс амортизация капитала ( $\delta$ ):

$$F'(K) = r + \delta \quad (15)$$

Величина требуемой доходности определяется степенью рискованности инвестиций (подробнее см [12] [3]). Используя трансформацию Диксита ([13] [12] [3]), определим стоимость капитала с учетом инвестиционных рисков  $r'$ . Тогда (15) трансформируется в (16):

$$F'(K) = r' + \delta \quad 16)$$

Предположим, что  $K_1$  это инвестиции в российскую экономику, а  $K_2$  это инвестиции в зарубежные активы. Если бы рискованность инвестиций в российские активы, была бы равна степени рискованности инвестиций в зарубежные активы, то соблюдалось бы выражение (17):

$$F'_1(K_1) = F'_2(K_2) = r + \delta \quad 17)$$

Если степень рискованности инвестиций в российские и зарубежные активы не совпадает, то (17) не соблюдается. Вместо него выполняется (18):

$$\begin{aligned} F'_1(K_1) &= r' + \delta \\ F'_2(K_2) &= r'' + \delta \end{aligned} \quad 18)$$

Из-за высокой степени рискованности инвестиций в российские активы,  $r' > r''$ , что объясняет значительный вывоз капитала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, выпукло-вогнутая форма агрегированной производственной функции приводит к неединственному состоянию равновесия, а наличие порогов, описываемых в литературе как Скиба или DNS-точки приводит к тому, что норма накопления не может достичь уровня необходимого для достижения наивысшей точки равновесия. Выпукло-вогнутая форма агрегированной производственной функции не только является причиной не единственности равновесного решения, от степени вогнутости функции зависит величина накоплений, требуемых для перехода к наивысшей точке равновесия. При более высокой степени вогнутости, требуется более высокая норма накопления капитала.

Зависимость российской экономики от экспорта и использования углеводородного топлива определяет высокую степень рискованности долгосрочных инвестиций в экономику страны. Ослабление этой зависимости является важнейшим условием перехода экономики России к наиболее высокой стадии постиндустриального развития. Наличие квалифицированной рабочей силы представляется важной предпосылкой для перехода на постиндустриальное развитие, тем не менее ориентация на ресурсно-сырьевые отрасли экономики и компенсация отсутствия или недостатка частных инвестиций путём предоставления государственных субсидий ресурсоемким отраслям, с одной стороны, усугубляет проблемы зависимости российской экономики от сырьевых и углеродоемких отраслей, а с другой стороны, не создаёт условий для накопления капитала в наукоёмких отраслях. Откладывание перехода на инновационный путь развития повышает социальные издержки этого и повышает риск остаться в ловушке развития. В данной работе приведены теоретические основы моделирования долгосрочного роста российской экономики. Следующим этапом должно быть проведения количественного анализа с целью количественной оценки рисков, связанных с продолжением ориентации на ресурсные сектора, а также обоснование стратегии такого перехода.

Причины отставания российской экономики от экономики развитых стран нужно искать в наличии барьеров для накопления капитала. Логично предположить, что в надежде на переход к более высокой точке равновесия экономика могла бы мобилизовать ресурсы и временно увеличить норму накопления. К тому же у России были все необходимые для этого предпосылки. Ресурсная рента, которая достигала в первой декаде столетия 20% ВВП могла бы стать таким источником финансирования, но не стала. Более того за последние 15 лет наблюдался рекордно высокий отток капитала из России.

Высокие инвестиционные риски в энергетическом секторе вполне возможно являются отражением высоких инвестиционных рисков в экономике России в целом.

Кроме того, не оптимальное сочетание нового и старого секторов в российской экономике, например чрезмерное накопление капитала в ресурс эксплуатирующим секторе, приводит к тому, что степень вогнутости производственной функции становится выше и нужно ещё более значительные вложения капитала для того чтобы преодолеть участок вогнутости агрегированный производственной функции. Наличие инвестиционных рисков и нерациональная политика поддержки развития отдельных секторов российской экономики создает положительную обратную связь, усиливая негативное влияние барьеров, препятствующих переходу российской экономики на более высокую точку равновесия.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Голуб А. Факторы роста российской экономики и перспективы технического обновления // Вопросы экономики, Vol. 5, 2004. pp. 44-58.
2. Peszko, G., Van Der Mensbrugghe, D., Golub, A., Ward, J., Zenghelis, D., Marijs, C., Schopp, A., Rogers, J. and Midgley, A. Diversification and Cooperation in a Decarbonizing World : Climate Strategies for Fossil Fuel-Dependent Countries. 2020.
3. Голуб А.А. Климатические изменения и «ловушки роста» 2020. URL: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3578658](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3578658)
4. Golub, A. and Toman, M. Climate Change, Industrial Transformation, and “Environmental Growth Traps” // Environmental and resource economics, Vol. 63, No. 2, 2016. pp. 249-263.
5. В.Н. Герасимович, А.А. Голуб. Методология экономической оценки природных ресурсов. 1988.
6. Azariadis, C., & Stachurski, J. Chapter 5 poverty traps // In: Handbook of economic growth. 2005.
7. Sala-i-Martin, Robert J. Barro and Xavier. Economic Growth. 2003.
8. Galvao Jr., A. F., Montes-Rojas, G., & Olmo, J. A panel data test for poverty traps // Applied Economics. 2013. Vol. 45. No. 14. pp. 1943-1952.
9. Vollmer S, Holzmann H, Ketterer F, Klasen S, Canning D. The Emergence of Three Human Development Clubs // PLOS ONE. 2013. Vol. 8. No. 3.
10. Graham, B. S., & Temple, J. R. W. Rich nations, poor nations: How much can multiple equilibria explain? // Journal of Economic Growth. 2006. Vol. 11. No. 1. pp. 5-41.
11. Paul M. Romer. Endogenous Technological Change // JOURNAL OF POLITICAL ECONOMY. 1990. Vol. 98. No. 5. P. 2.
12. Golub A., Lugovoy O., Potashnikov V. Quantifying barriers to decarbonization of the Russian economy: real options analysis of investment risks in low-carbon technologies // Climate Policy. 2019. Vol. 19. No. 6. pp. 716-724.
13. Dixit, A.. Investment and Hysteresis // Journal of Economic Perspective. 1992. No. 6.
14. Gong, L., Li, H., Wang, D., & Zou, H. Health, taxes, and growth // Annals of Economics and Finance, Vol. 11, No. 1, 2010. pp. 73-94.
15. Semmler, W., & Ofori, M. On poverty traps, thresholds and take-offs // Structural Change and Economic Dynamics, Vol. 18, No. 1, 2007. pp. 1-26.

16. Skiba A.K. Optimal growth with a convex-concave production function // Econometrica. 1978. Vol. 46. No. 3. pp. 527–539.

## **Приложение. Выпукло-вогнутая производственная функция: Микроэкономические основы возрастающей отдачи от масштаба**

В этом разделе мы кратко повторим аргументы приведённые в [3] [1] [5], где объясняются причины возникновения вогнутых участков агрегированной производственной функции. Рассмотрим переход экономики из одной технологической структуры, которая, возможно, исчерпала основные источники экономического роста (и последовательно демонстрирует снижение отдачи от масштаба) к новой технологической структуре, которая демонстрирует значительно более высокую производительность, рассматриваемую в литературе в качестве основного механизма конвергенции. На рисунке 10 представлена стилизованный экономика с возможностью реализации двух различных технологий F1 и F2.

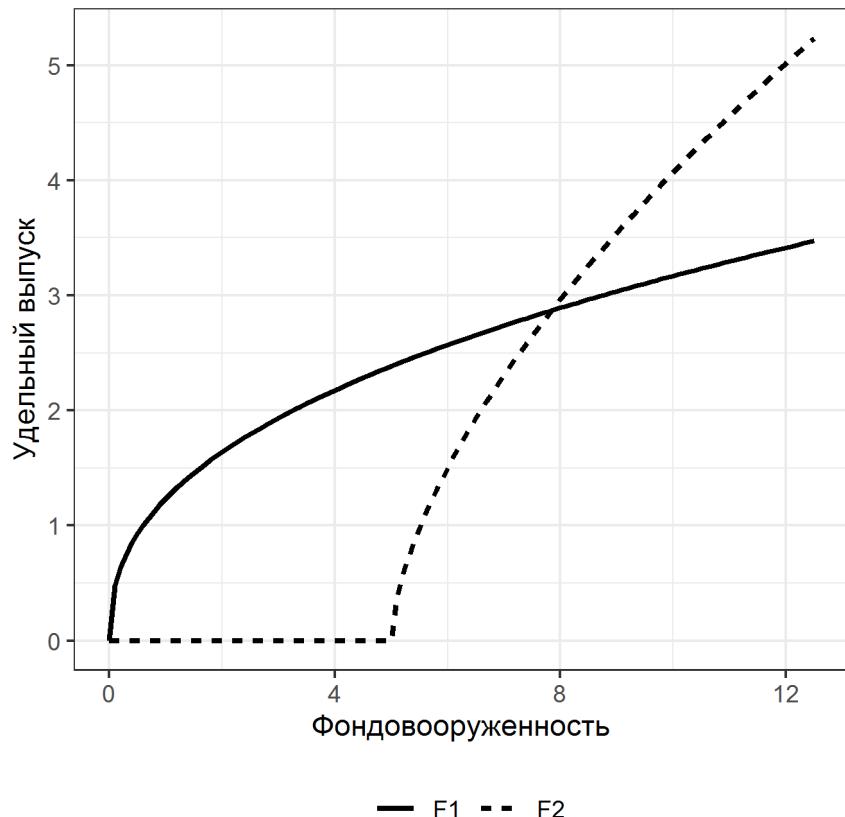


Рисунок 10 – Стилизованная экономика с двумя различными технологиями

Подобное стилизованное представление технологий можно найти в [3] [1]. На рисунке 10, F1 представляет собой «старую технологическую структуру», а F2 представляет собой «новую технологическую структуру».

При оптимальном осуществление перехода от освоенной производственной функции к новой инновационной экономики соблюдаются оптимальные пропорции между мегасекторами, таким образом что агрегированный выпуск экономики описывается прямой линией, изображенной на рисунке 11 пунктиром. Любое отклонение от оптимального сочетания и воспроизводственных структуре приводит к тому, что агрегированный выпуск лежит ниже пунктирной линии. Иными словами, любое отклонение от оптимального сочетания двух мегатехнологий приводит к не оптимальному объему выпуска. Очевидно, что любая кривая лежащие на графике изображенном на рисунке 11 ниже пунктирные прямой является вогнутой. В [3] было продемонстрировано, что инвестиционные риски специфичные для новой воспроизводственный структура могут являться одним из препятствий оптимального перехода. Другим препятствием может быть ограниченная мобильность рабочей силы.

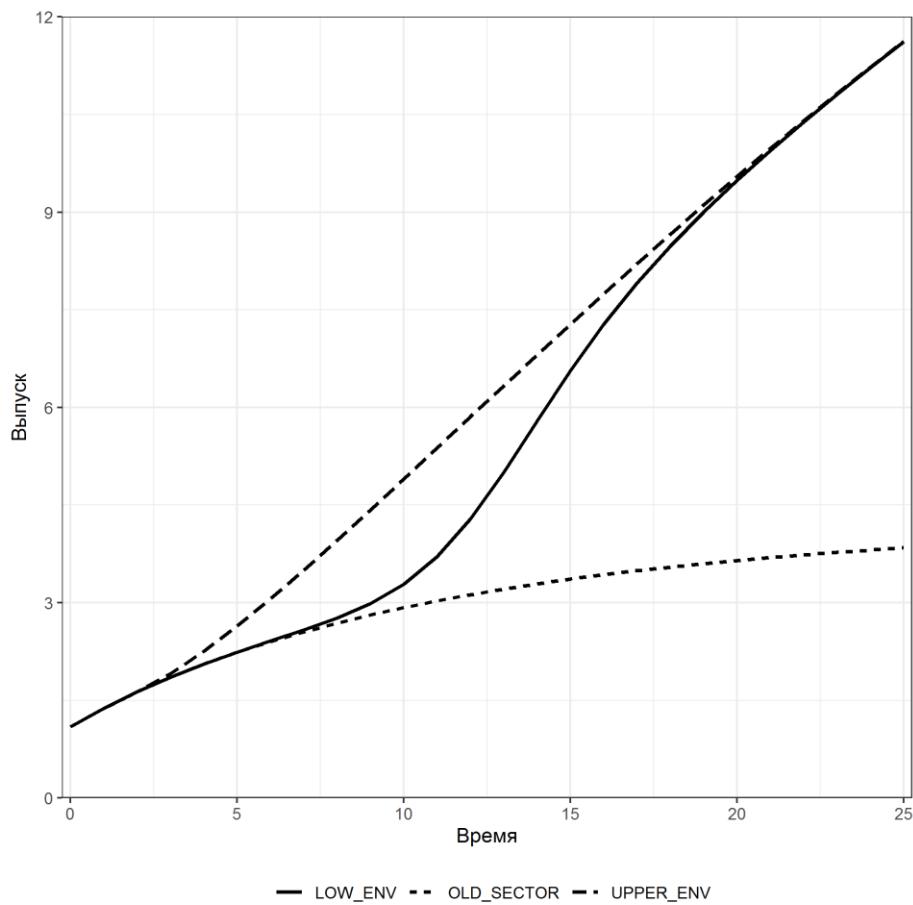


Рисунок 11 – Совокупное производство в двухсекторной экономике

Итак, UPPER\_ENV представляет собой совокупное производство в случае отсутствия ограничений на распределение и перераспределение рабочей силы и капитала, предполагая, что оба сектора могут одновременно присутствовать в экономике и что совокупные продукты старого и нового секторов являются заменителями. Даже если

продукты разные, они могут быть взаимозаменяемы с точки зрения полезности потребления, а также для открытой экономики экспорт и импорт помогает решить проблему замещения. LOW\_ENV представляет собой агрегированную отдачу экономики, условия функционирования которой отклоняются от оптимальных. В этом случае производственная функция имеет как участки возрастающей отдачи от масштаба, так и убывающей.

В идеальном случае экономика развивается по траектории описываемой кривой UPPER\_ENV. В этом случае исходная модель роста трансформируется в известную в литературе АК – модель. В этой максимально упрощенной из известных в литературе моделей роста, все сводится к накоплению капитала. При всей своей простоте АК модель представляет собой краевое решение более сложной модели роста, описанной нами выше. На этой траектории (соответствующей краевому решению) экономика демонстрирует линейный рост, что само по себе мало вероятно, но возможно при соблюдении довольно жестких условий, главное из которых – это строгое соблюдения режима оптимального перехода на новые технологии. В том числе, предполагается абсолютная мобильность трудовых ресурсов.

Напомним, что развивающийся новый сектор представляет собой экономику, основанную на знаниях и накоплении человеческого капитала. Новые технологии производства требуют высококвалифицированной рабочей силы. Недостаточное предложение труда такого рода приводит к субоптимальному переходу на новые технологии и, соответственно, к отклонению от АК - траектории и образованию локального участка производственной функции, лежащего ниже UPPER\_ENV. Предложение высококвалифицированной рабочей силы в каждый момент времени фиксировано и, как правило, не соответствует «оптимальному» размеру предложения, необходимому для достижения АК траектории.

Недостаточный человеческий капитал (совокупность умений и навыков) является одной из важнейших причин ловушек развития и клубной конвергенции. Загрязнение окружающей среды, бедность, некачественная система здравоохранения и образования, все это замедляет развитие рабочей силы (см. [14] [15]).

Таким образом, экзогенное предложение высококвалифицированной рабочей силы, отклоняющийся от «идеального» процесса переопределения рабочей силы, является причиной относительно более низкой отдачи в развивающихся экономиках. Климатические изменения и формирующаяся глобальная климатическая политика также может послужить причиной стагнации экономики в окрестности ловушки роста.