

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА И ЦИКЛИЧНОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ <sup>1</sup>

**В. Е. Дементьев**

*В статье предложено Н. Д. Кондратьевым теоретическое объяснение экономических циклов сопоставляется с современными условиями экономического развития. Обосновывается необходимость учета того, как относительные масштабы «созидательного разрушения» меняются от цикла к циклу и влияют на это развитие. Обсуждается экономическая целесообразность использования технологий предшествующих длинных волн после подъема очередной длинной волны. Рассматриваются имеющиеся точки зрения на взаимовлияние технологий разных длинных волн. Предложена простая модель наслаивающихся (пересекающихся) поколений технологий при станов-*

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 14-18-02948).

лении нового технологического уклада. В отличие от моделей пересекающихся поколений населения, где поколения имеют фиксированный срок жизни, здесь продолжительность существования отдельных технологий не задается экзогенно. Внимание акцентируется на инфраструктурных обстоятельствах экономического развития. Модель иллюстрирует процесс формирования длинных волн даже при монотонном характере развития технологий. Представленный вариант формирования этих волн выходит за рамки схемы, соответствующей «технологическому детерминизму» в объяснении экономических циклов. Часть параметров модели отражает институциональные условия развития экономики, в частности, условия кредитования бизнеса. Показано, что удешевление требуемых для новой технологии ресурсов может быть причиной наблюдаемого укорачивания кондратьевских циклов.

**Ключевые слова:** длинные волны экономики, инфраструктура, технологии широкого применения, пересекающиеся поколения, логистическая функция.

### Введение

Исследование процессов, вызывающих отклонение экономической системы от казалось бы устоявшихся тенденций, — одна из наиболее сложных задач экономической теории. Дефицит знаний о таких процессах оборачивается неожиданными кризисами в производстве, в финансовой и социальной сферах. Неудивительно, что и в этих отклонениях хочется найти свои закономерности (правильности, если воспользоваться термином Н.Д. Кондратьева). Анализ ряда статистических показателей за 140-летний период по четырем наиболее развитым странам позволил Н.Д. Кондратьеву сформулировать четыре правильности, характеризующие долгосрочные циклические отклонения этих показателей от сглаженной траектории их динамики. Предложенное Н.Д. Кондратьевым теоретическое объяснение пульсации экономического развития содержит следующие положения:

1. Повышательная волна большого цикла связана с обновлением и расширением основных капитальных благ.

2. Этот процесс предполагает огромные затраты капитала.

3. Чтобы этот капитал был, а) его накопление должно достичь значительных размеров; б) темп накопления должен превышать темп текущего инвестирования.

4. Предпосылкой радикальных изменений является концентрация капитала в распоряжении мощных предпринимательских центров. Этой концентрации способствуют система кредита и фондовая биржа [7].

Наблюдаемая в последние годы череда экономических кризисов способствовала повышению внимания к теории Н.Д. Кондратьева, к соответствующим модельным разработкам. Как эти разработки, так и сама концепция волнообразности экономического развития должны учитывать особенности современной

экономики. Так, при возросшей мощи финансовых систем сама по себе капиталоемкость основных капитальных благ не исключает того, что финансирование их обновления будет равномерным во времени. Кроме того, постиндустриальная экономика ассоциируется со снижением роли промышленности в пользу сферы услуг и производства знаний, с замещением материального и природного капитала человеческим. Постиндустриальное развитие связывается в первую очередь с накоплением человеческого капитала. Ритм его обновления предстает ключевым фактором, задающим динамику производства. Коль скоро происходит переход к непрерывному образованию на протяжении всей жизни (*lifelong learning*), то ожидаемым становится отсутствие значительных пульсаций в экономическом развитии как проявление его нового характера.

Каждая пульсация, большая волна экономического развития имеет своеобразные черты. Поэтому о цикличности развития можно говорить лишь с изрядной долей условности. Свой вклад в своеобразие отдельных циклов вносят, в частности, специфические институциональные условия, что соответствуют новой технологической базе производства, формирующейся в рамках очередного кондратьевского цикла.

Все заметнее влияние на специфику последовательных волн, оказываемое меняющимися от цикла к циклу относительными масштабами «созидательного разрушения». В XIX веке переход от парусных судов к парходам привел к фактической ликвидации отрасли, строившей транспортные парусные суда, и связанных с этой отраслью производств (канаты, паруса и т. д.). При микроэлектронной технологической революции выжили почти все ранее существовавшие отрасли. При этом произошло резкое замещение живого труда «трудом» автоматов, раньше речь шла о замещении физического труда механизированным.

При этом часть традиционных отраслей временно или на постоянной основе обретает второе дыхание за счет комбинирования старых и новых технологий. Возможности такого комбинирования наглядно проявились в автомобилях с двигателями внутреннего сгорания. В стоимости таких автомобилей все возрастающую долю занимают электронные компоненты. Ожидается, что скоро автомобилестроение станет сферой активного применения и нанотехнологической продукции. Непосредственная же доля в ВВП принципиально новых отраслей (отождествляемых с технологической революцией) может быть довольно скромной. В частности, с 1977 года и до сих пор доля компьютеров и электронных продуктов в ВВП США не превышает 2 % (по данным Bureau of Economic Analysis США<sup>1</sup>).

В современной литературе инновации, обеспечивающие принципиальное обновление технологической базы производства (базисные инновации), фигурируют как технологии широкого применения (*general purpose technology*). Это технологии, которые внедряются во множество других отраслевых технологий, позволяя тем перейти на новый уровень и повысить свою эффективность, открывают широкий спектр новых возможностей для прибыльных инвестиций [40; 48]. Такие свойства позволяют характеризовать технологии широкого применения как «двигатели роста». Л. Дадли [33], изучив нововведения в период между 1700 и 1850 годами, выделил 9 технологий широкого применения (ТШП). Наиболее часто в качестве примеров таких технологий фигурирует использование энергии пара и электричества (см., например, одну из ключевых работ по теме ТШП [26]). Технологии широкого применения фактически являются той материальной основой технологических революций, с которыми связывают смену длинных волн экономического развития.

Сам характер такого рода технологий, все усложняющаяся отраслевая структура экономики позволяют заключить, что в ходе этого развития новая длинная волна не гасит полностью предшествующие волны. Можно говорить о сосуществовании в экономике, пусть в изменяющихся пропорциях и с элементами модернизации, но разных технологических укладов. Как отмечает С. Румянцева, новый вид энергии, новая технология, новый тип финансовых институтов могут в экспериментальных масштабах появиться задолго до зарождения той

длинной волны, основой которой они станут, а после 60-летнего срока доминирования еще могут продолжать сохранять ограниченную экономическую нишу [17, с. 68].

Для периодов смены ведущих технологических укладов, технико-экономических парадигм характерно усиление социальной напряженности как внутри стран, так и на международной арене [51]. Анализ обстоятельств такой смены способен пролить свет на продолжительность переходного периода и сопровождающих его кризисных явлений. Выделение факторов, приводящих к воспроизводству технологической неоднородности экономики, важно и с позиций исследования структурных сдвигов в производстве, обеспечения их координации в динамике. Достижение такой координации — фундаментальная проблема поведения сложных развивающихся систем [6].

В решении этой проблемы оригинальные результаты представлены в цикле работ по моделированию переключающегося воспроизводства [9; 10]. Речь идет о представлении реального сектора экономики в виде совокупности относительно самостоятельных подсистем, где возраст основного капитала отдельной подсистемы отличается от возраста других подсистем. Каждая подсистема — это своего рода «малая макроэкономика», которая способна осуществлять как воспроизводство своего основного капитала, так и производство потребительских благ. Можно трактовать такой подход как подведение мезоэкономических оснований под макроэкономический анализ. Этот подход позволяет установить условия реализации режима «скоординированного роста», при котором регулярное обновление подсистем, обладающих самым старым основным капиталом, совместимо с сохранением «динамической устойчивости» (устойчивости в динамике) всей системы. Показано [9; 10], что если моделируемая экономика движется по траектории скоординированного роста, то временные шоки не приводят к ее дестабилизации.

Большой шаг сделан в последние годы в анализе и математическом моделировании длинноволновой динамики [12; 20]. Вместе с тем, актуальной задачей остается раскрытие того, как формируется продолжительность цикла обновления технологической базы производства в условиях ее сохраняющейся неоднородности, когда ослабляются ограничения на финансовые ресурсы, не фиксируются априори сроки использования технологий разных волн.

<sup>1</sup> Bureau of Economic Analysis USA (<http://bea.gov>).

В этой связи дополнительного внимания в моделях экономического развития требует учет инфраструктурных обстоятельств длинноволновой динамики. Такие инфраструктурные объекты, как сухопутные транспортные сети, могут служить иллюстрацией и инноваций отдельных длинных волн, и длительного наложения технологий разных волн [18].

Как известно, объекты производственной инфраструктуры — весомая составляющая основных капитальных благ, которым Н.Д. Кондратьев отвел ключевую роль в формировании циклов конъюнктуры. Инфраструктурные обстоятельства фигурируют и в современных исследованиях в качестве одного из принципиальных факторов длинноволновой динамики наряду с факторами, связанными с внедрением инноваций, обновлением финансовой системы и ее институтов, сменой моделей ресурсопотребления и технологий получения информации [1].

Не только человеческие ресурсы, но и разные составляющие инфраструктуры приобретают все возрастающее значение в социально-экономическом развитии [15]. Однако зависимость степени реализации потенциала технологического уклада от состояния необходимой для этого инфраструктуры, специфика влияния инфраструктурных объектов на выпуск продукции, на цикличность экономического развития пока слабо отражены в моделях экономического роста.

В настоящей статье рассматривается модель наслаивающихся (пересекающихся) поколений технологий при становлении нового технологического уклада. В отличие от известной модели пересекающихся поколений Даймонда (см. [16, с. 110–130]), где поколения людей имеют фиксированный срок жизни, здесь продолжительность существования отдельных технологий не задается экзогенно. Учитывается условно-постоянный характер затрат на формирование инфраструктуры, необходимой для реализации потенциала технологий, соответствующих отдельной длинной волне.

### **1. Исследования технологической неоднородности производства и структурных сдвигов в экономике**

Производства нисходящей волны в процессе созидательного разрушения не являются лишь балластом для обновляющейся экономики или лишь объектом реанимации с помощью технологий новой волны. Слишком резкое свертывание инвестиций в производства нисходящей волны способно затормозить подъем

новой волны в лидирующей экономике. На ресурсной и интеллектуальной базе предыдущего технологического уклада складываются технологические цепочки нового уклада [4]. То, что разные ТШП могут связывать отношения не только конкуренции, но и взаимодополняемости, отмечается в [29; 35]. Если некоторые технологии, как паровой двигатель, почти полностью выходят из коммерческого использования или, как водяное колесо, отступают в специализированные ниши и перестают быть технологией широкого применения, другие, как электричество, остаются полностью ассимилируемыми в ткань экономики.

Состояние отраслей, воплощающих нисходящую длинную волну, имеет значение как для лидирующего, так и для догоняющего развития. Существующие отрасли играют большую роль в накоплении знаний, человеческого капитала. Имеющийся запас знаний влияет на возможности и их заимствования, и самостоятельного приращения. Как отмечается в [5, с. 161], широко признанным стало вытекающее из классической модели Р. Нельсона и Э. Фелпса положение об определяющем значении накопленного в странах-реципиентах критического объема человеческого капитала для успешного заимствования и диффузии новых технологий и институтов.

Систематизировать описание развития ТШП, изменений ее взаимодействия с другими технологиями помогает выделение этапов этого развития. Если на раннем этапе новая технология подстраивается под существующие ТШП, то затем уже они и связанные с ними институты и организационные формы приспособляются к новой технологии. Разрабатываются и осваиваются дополняющие ее технологии. Изменившаяся структура экономики способствует расширению спектра приложений новой ТШП и высоким темпам роста экономики, которые снижаются с исчерпанием возможностей этой технологии [30].

Свою очередность имеет и распространение новой технологии в разных сферах деятельности, среди разных отраслей экономики. В монографии М. Хироока [41] это распространение описывается каскадной структурой инновационной парадигмы. Речь идет о представлении парадигмы в виде структуры из трех логистических траекторий: технологической траектории, траектории развития, траектории диффузии. Первая из них реализуется в научной среде и соответствует скрытому периоду развития инновационной парадигмы, характеризующемуся накоплением знаний о новой тех-

нологии. Траектория развития описывает их коммерциализацию, трансформацию знаний инноваторами в технологические и продуктовые нововведения. Формирование массовых рынков инновационных продуктов происходит по траектории диффузии.

Ряд исследователей [29; 37] обращают внимание на то, что новая ТШП не сразу приводит к появлению новых конечных продуктов. Распространение ТШП описывается как передача этой технологии из сектора, где она создается, в другие отрасли, выступающие поставщиками для производства потребительских благ [26; 28; 40].

Детализированная схема распространения ТШП представлена в [31]. Различные подразделения производства и сферы услуг выделяются по той роли, которую они играют в обновлении производства на основе нового знания. В цепочке развития новой ТШП в качестве первого звена выделены поставщики передовых знаний (*advanced knowledge providers*). Они обладают ключевыми знаниями о новой технологии и располагают возможностями для их приращения. Этот сектор представляет собой ту базу знаний, на которую опирается инновационная деятельность во всех других секторах. Например, такие поставщики воплощают соответствующие микроэлектронной ТШП знания, во-первых, в компьютеры и программное обеспечение, выполнение исследований и разработок, консультирование, во-вторых, в специализированное машинное оборудование, медицинские, точные и оптические инструменты.

Промежуточное положение занимают поставщики массовых промежуточных продуктов (*mass production goods*) и инфраструктурных услуг (*supporting infrastructure services*) для производства потребительских благ (*personal goods and services*). В [31] к поставщикам массовых промежуточных продуктов отнесены такие наукоемкие отрасли, как производство офисной техники, химической и электротехнической продукции, радио-, теле- и коммуникационного оборудования. Кроме того, в качестве поставщиков массовых промежуточных продуктов рассматриваются отрасли со значительным эффектом масштабов производства: производство резиновых и пластмассовых изделий, основных металлов, готовых металлических изделий, прочих неметаллических минеральных продуктов, транспортных средств и другого транспортного оборудования. Поддерживающие производство инфраструктурные услуги оказывают почта и телекоммуникации, финансовые посредники, страховые

организации, оптовая торговля, разные виды транспорта.

Заключительным звеном в цепочке развития ТШП являются поставщики потребительских благ и услуг. К таким поставщикам относятся отрасли, производящие продукты питания, одежду, обувь, мебель, полиграфическую продукцию. Сектор потребительских услуг охватывает розничную торговлю, автосервис, ремонт бытовых предметов, ресторанный и гостиничный бизнес.

Эмпирический анализ динамики производительности труда в различных секторах 18 стран-членов ОЭСР за период 1970–2005 гг. показал, что чем дальше отстоит сектор от поставляющего передовые знания ядра новой технологии широкого применения, тем слабее влияние этой технологии на секторную динамику производительности труда. Страны, способные смещать структуру экономики в направлении ядра новой ТШП, получают преимущество в темпах роста производительности труда. Используя передовые знания поставщикам массовых промежуточных продуктов и услуг Ф. Кастелаччи [31] отводит ключевую роль в производственной цепочке развития ТШП. Указывается на то, что специфика секторов, их возможности и ограничения должны учитываться в инновационной политике.

Ряд исследователей [52; 59; 60] указывают на важность дополнительных активов для успешности инноваций. Такие активы могут включать сеть поставщиков или деловых партнеров, производственное оборудование, клиентскую базу, репутацию. Положение о необходимости дополнительных активов для успешной конкуренции на инновационных рынках весьма близко к идее шумпетерианских моделей с технологиями широкого применения об особом наборе ресурсов для реализации потенциала таких технологий. Чем шире спектр таких ресурсов, тем сложнее обеспечить скоординированное формирование мощностей для производства этих ресурсов. К значительно усложняющим координационные проблемы относят ситуации, когда инновации ведут к возникновению рынков, на которых привлекательность новых продуктов, услуг зависит от численности тех, кто уже пользуется этими продуктами и услугами [47], т. е. рынков с сетевыми эффектами.

Структурные сдвиги в экономике в условиях созидательного разрушения, связанные с ним изменения в распределении ресурсов раскрываются в шумпетерианских моделях эндогенного роста. Эти исследова-

ния были начаты П. Ромером [53–55] и продолжены Б. Джовановичем и Р. Робом [44], П. Сегерстромом, Т. Анантом, Э. Динопулосом [56; 57], П. Агионом и П. Ховиттом [21–24], Г. Гроссманом и Э. Хелпманом [38; 39], Ч. Джонесом [42; 43]. В моделях эндогенного роста технический прогресс рассматривается не как экзогенный фактор, но как результат использования части ресурсов для накопления знаний. В ходе совершенствования этих моделей в описание сектора производства знаний вносились корректировки, отражающие снижение отдачи при наращивании ресурсов этого сектора.

Шумпетерианские модели с технологиями широкого применения демонстрируют неоднозначное влияние новой ТШП на темпы роста (Helpman, Trajtenberg, 1998). Эти темпы возрастают в перспективе, но за счет снижения выпуска продукции в более близкий период [40, ch. 8]. В моделях такого рода внимание обычно фокусируется на распределении трудовых ресурсов между производственным сектором и сектором производства знаний [2]. В большинстве моделей новые технологии широкого применения обеспечивают вертикальную (повышение качества) или горизонтальную (расширение ассортимента) дифференциацию продукции и в итоге приводят к полному вытеснению прежних ТШП. На практике такое вытеснение имеет частичный характер, а экономическое развитие во многом происходит на основе комбинирования технологий [50]. Более реалистичный подход, учитывающий комбинирование технологий, представлен в [2; 25; 34].

А. Аткесон и П. Кихо [25] обосновывают выявленные в [32; 45] свойства технологических революций: парадокс производительности (длительное отставание в темпах роста производительности от темпов технических изменений), медленное распространение новых технологий, продолжающиеся инвестиции в старые технологии. Показано, что даже после начала внедрения новых технологий нет смысла полностью прекращать инвестиции в старые технологии. Похожие результаты получены в [2].

В современном макроэкономическом анализе широко используются динамические стохастические модели общего экономического равновесия (*dynamic stochastic general equilibrium model* — *DSGE*). О формализуемых в этих моделях теоретических положениях говорят как о новом неоклассическом синтезе [36]. Многие специалисты рассматривают *DSGE*-модели как

инструмент не только выявления источников экономических колебаний и их последствий, но и прогноза результатов различных мер макроэкономической политики.

К достоинствам *DSGE*-моделей относят то, что макроэкономические процессы формируются на микрофундаменте, которым служат модели поведения микроэкономических агентов. Таким образом, *DSGE*-модели являются «структурными», что важно с позиций так называемой «критики Лукаса» [49]. Он поставил под сомнение корректность прогнозов с помощью эконометрических моделей, игнорирующих влияние изменений в экономической политике на параметры этих моделей. Из критики Лукаса следует, что при предсказании последствий мер экономической политики основанием для моделирования этих мер должны служить параметры, которые не зависят от изменений в экономической политике. Такими структурными параметрами выступают определяющие индивидуальное поведение экономических агентов характеристики их предпочтений, используемых технологий, ресурсных ограничений. Забегая вперед, можно отметить, что в настоящей статье основанием для моделирования длинноволновой динамики выступает структурный параметр, характеризующий ту производственную инфраструктуру технологии широкого применения, которая необходима для реализации ее экономического потенциала.

В качестве экономических агентов в *DSGE*-моделях, как правило, фигурируют домашние хозяйства и фирмы. В более сложных моделях присутствуют агенты, реализующие бюджетно-налоговую (правительство) и монетарную (центральный банк) политику. В моделях открытой экономики фигурируют агенты, представляющие внешний спрос. В *DSGE*-моделях принимается предположение о репрезентативности экономических агентов.

Несмотря на активное использование *DSGE*-моделей, у части специалистов сохраняется скептическое к ним отношение. Речь идет, в частности, о неспособности *DSGE*-моделей описывать нелинейную динамику экономических колебаний [27]. Вызывает критику ориентация моделирования на репрезентативных агентов [19, с. 31; 58], а следовательно, на технологическую однородность производственного сектора.

Хотя допущение о репрезентативных агентах является одним из основных направлений критики *DSGE*-моделей, это допущение может быть ослаблено. На то, что такого рода модели

допускают приспособление под исследуемые задачи, обращает внимание М. Вудфорд [3]. При построении *DSGE*-моделей уже имеется некоторый опыт выделения в рамках производственного сектора отдельных видов фирм (фирмы, производящие товар конечного потребления; фирмы, производящие отечественный промежуточный товар) [14], хотя и по не связанному с возрастом технологий принципу. Переход к многосубъектным *DSGE*-моделям сужает возможности их аналитического решения. Вместе с тем такой переход сближает эти модели с агент-ориентированными моделями, исследуемыми с помощью компьютерных симуляций.

Еще одно направление критики *DSGE*-моделей — слабая приспособленность к анализу эндогенных циклов. Имеется продвижение и в направлении такого анализа, связанное к тому же с ревизией допущения об однородности домашних хозяйств. В работе [46] построена *DSGE*-модель, в которой люди живут  $G$  периодов, в течение каждого из  $G - 1$  периодов они работают и получают трудовой доход в виде заработной платы. После  $G - 1$  периода они прекращают трудовую деятельность и в течении  $G$ -го периода жизни уже не получают трудового дохода. Однако длительность циклов остается в этой модели экзогенным параметром.

## 2. Модель наложения технологий разных длинных волн

Рассматривается экономическая система, в которой возможности выпуска продукции за фиксированный период (год) на основе технологий отдельной длинной волны описываются логистической функцией. Использование логистических кривых — достаточно стандартный прием для описания динамики технологических укладов (см., например, [13]). Логистические кривые описывают кумулятивный рост с насыщением, наблюдаемый и биологических, и в экономических системах. В экономике насыщение может соответствовать постепенному исчерпанию потенциала используемой технологии.

В статье Р. Нижегородцева [13] представлена модель смены технологических укладов в виде обобщенной логистической кривой. Однако акцент делается на полное отмирание стареющих технологических укладов, хотя и допускается их временное наложение.

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 настоящей статье в логистической форме будет рассматриваться зависимость годового выпуска  $y$  от количества вовлеченных в производство ресурсов  $z$  (где  $z$  — цена этого количества ресурсов):

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

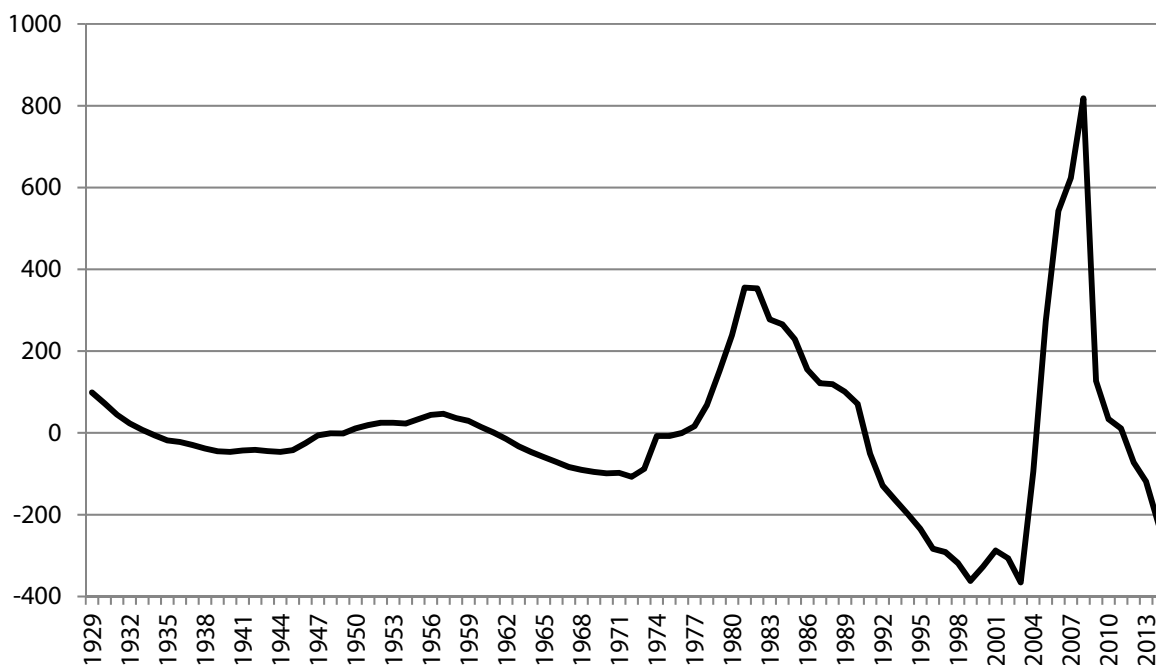
При этом в логистической функции в качестве  $z$  фигурирует только часть ресурсов, непосредственным образом определяющая количество произведенной продукции/услуг. Отдельно предлагается учитывать ресурсы  $c$  (где  $c$  — цена ресурсов) в виде инфраструктуры производства, создание которой рассматривается 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, опосредованно — 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



**Рис. 1.** Изменение чистой стоимости инфраструктуры нефинансовых корпораций (отклонение от тренда), млрд долл. Источник данных: Bureau of Economic Analysis USA Table 4.1. Current-Cost Net Stock of Private Nonresidential Fixed Assets by Industry Group and Legal Form of Organization

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. Показательна неравномерность развития инфраструктуры нефинансовых корпораций США (рис. 1).

Расходы на необходимую инфраструктуру оказывают сдерживающее влияние на становление нового технологического уклада. В XIX в. неготовность портовой инфраструктуры к эффективному использованию крупных пароходов 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 гг. их протяженность увеличилась с 93 267 до 163 597 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 ин-

фраструктуру, 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:

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

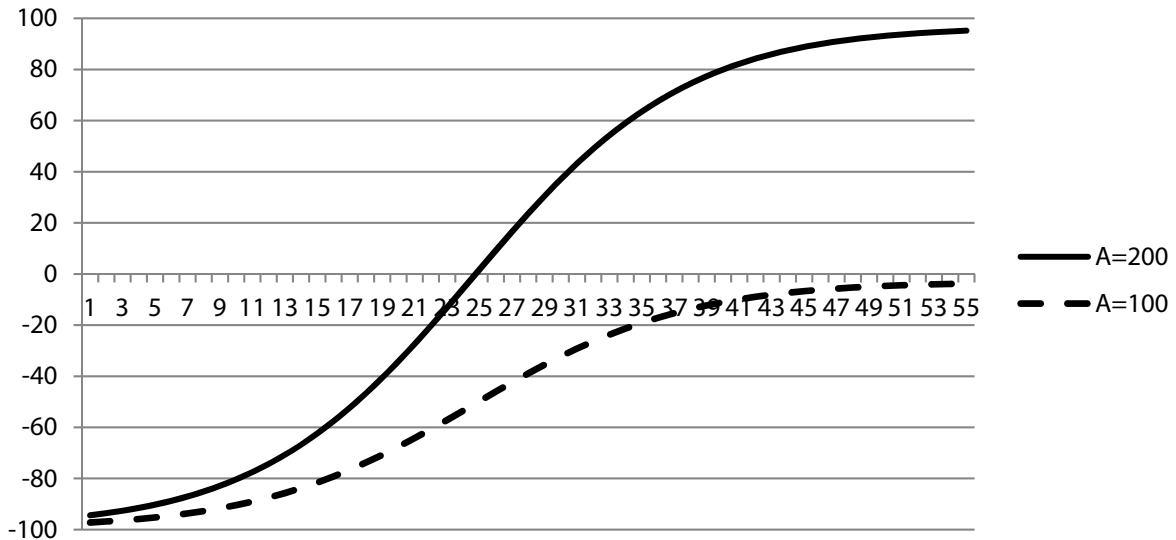
Отсюда можно получить некоторый ориентир относительно того, к какому времени  $T$  потенциал новой технологии достигнет порогового значения  $A(T)$ , обеспечивающего положительный экономический эффект от использования этой технологии. Условием получения такого эффекта является выполнение неравенства:

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

Даже если  $z = 0$ , должно выполняться

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





**Рис. 2.** Влияние достигнутого уровня развития технологии на экономическую целесообразность ее использования

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. При всей условности этого примера он помогает выявлению возможных причин наблюдаемого укорачивания кондратьевских циклов.

Последствия роста  $A(t)$  можно проиллюстрировать на графике (рис. 2), представляющем, как влияет достигнутый уровень развития технологии на эффективность ее практического использования. Кривые на этом рисунке изображают зависимость экономического эффекта от объема ресурсов  $z$  при разном фиксированном уровне потенциала  $A$ , когда  $b = 0,15, d = 40, c = 2000, r = 0,05$ .

Рисунок 2 демонстрирует вполне понятные последствия медленного совершенствования новой технологии. Оно приводит к откладыванию экономически оправданного использования этой технологии, пока ее возможности не будут доведены до необходимого уровня (при

использованных для построения рис. 2 параметрах положительный эффект от новой технологии достижим при  $A \geq 104$ ).

Более сложным является вопрос об экономической оправданности наслоения технологий разных длинных волн. Допустим, что потенциальные возможности технологий, представляющих две смежные длинные волны, уже определились:  $A_1$  — потенциал первой из рассматриваемых волн,  $A_2$  — второй. Пусть финансовые возможности привлечения ресурсов  $K$ , необходимых для технологий разных волн, ограничены величиной  $rK$ :

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

$rK$  можно 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 технологиями двух волн можно представить следующим образом:

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

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

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

$$x_1 = b^{-1} \ln Q,$$

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

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 длинных волн ( $H = A_2/A_1$ ) влияет на активность использования технологий предшествующей длинной волны и, соответственно, на меру переключения экономики на технологии следующей волны. Перераспределение ресурсов в пользу новой технологии усиливается по мере увеличения этого соотношения.

### Заключение

Предложенная модель наслоения технологий разных длинных волн имеет весьма упрощенный характер. Вместе с тем она иллюстрирует процесс формирования этих волн даже при монотонном характере развития технологий. Акцент здесь был сделан на учете инфраструктурных обстоятельств длинноволновой

динамики. За рамками рассмотрения остались весьма важные эффекты не просто наслоения, а симбиоза уже вполне освоенных и новых технологий широкого применения. Такой симбиоз способен, с одной стороны, заметно повысить потенциал старых технологий (отраслей), с другой стороны, запустить процесс применения новых технологий (как улучшающих в этих отраслях) еще до формирования инфраструктуры, необходимой для раскрытия потенциала очередной длинной волны.

Представленный вариант формирования этих волн выходит за рамки схемы, соответствующей «технологическому детерминизму» в объяснении экономических циклов [8]. Часть фигурирующих в моделях параметров отражает институциональные условия развития экономики и их влияние на цикличность экономического развития [11]. В частности, от государственной научно-технической политики зависят темпы формирования потенциала очередной длинной волны (параметр  $s$ ), от финансовой политики — условия кредитования бизнеса (параметр  $r$ ), а с ними и скорость приближения новых технологий широкого применения к состоянию, привлекательному для инвесторов. Мощный импульс подъему очередной длинной волны государство может придать и через финансирование необходимой для такого подъема инфраструктуры.

### Список источников

1. Акаев А. А., Румянцев С. Ю., Сарыгулов А. И., Соколов В. Н. Причины длинных волн и проблема неравномерного экономического развития мировой экономики // Кондратьевские волны: Аспекты и перспективы: ежегодник / отв. ред. А. А. Акаев, Р. С. Гринберг, Л. Е. Гринин, А. В. Кортаев, С. Ю. Малков. — Волгоград: Изд-во «Учитель», 2012. — С. 110–135.
2. Арефьев Н. Г., Арефьева А. И. Экономический рост и идеи: препринт WP12/2010/02 / Гос. ун-т — Высшая школа экономики. — М.: Изд. дом Гос. ун-та — Высшей школы экономики, 2010. — 56 с.
3. Вудфорд М. Сближение взглядов в макроэкономике: элементы нового синтеза // Вопросы экономики. — 2010. — № 10. — С. 17–30.
4. Глазьев С. Ю. Современная теория длинных волн в развитии экономики // Экономическая наука современной России. — 2012. — № 2. — С. 27–42.
5. Диденко Д. Инновационное и догоняющее развитие: две стратегии модернизации российской интеллектуально-емкой экономики // Экономическая политика. — 2011. — № 1. — С. 158–169.
6. Дози Дж. Экономическая координация и динамика: некоторые особенности альтернативной эволюционной парадигмы // Вопросы экономики. — 2012. — № 12. — С. 31–60.
7. Кондратьев Н. Д. Большие циклы экономической конъюнктуры // Кондратьев Н. Д., Яковец Ю. В., Абалкин Л. И. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды. — М.: Экономика, 2002. — С. 390–391.
8. Лавров С. Ю. Макроэкономическая основа цикличности экономического развития в современных условиях // Журнал экономической теории. — 2014. — № 1. — С. 122–134.
9. Маевский В. И., Малков С. Ю. Перспективы макроэкономической теории воспроизводства // Вопросы экономики. — 2014. — № 4. — С. 137–154.
10. Маевский В. И., Малков С. Ю., Рубинштейн А. А. Особенности и проблемы моделирования переключающегося воспроизводства // Экономика и математические методы. — 2015. — № 1. — С. 26–44.
11. Малкина М. Ю., Лавров С. Ю. Институциональные аспекты современных циклов и кризисов // Журнал экономической теории. — 2012. — № 1. — С. 69–78.

12. Моделирование и прогнозирование мировой динамики / Садовничий В. А., Акаев А. А., Коротаев А. В. и др. — М.: ИСПИ РАН, 2012. — 359 с.
13. *Нижегородцев Р. М.* Логистическое моделирование экономической динамики. Ч. 1. // Проблемы управления. — 2004. — № 1. — С. 46–53.
14. *Полбин А. В.* Эконометрическая оценка структурной макроэкономической модели российской экономики // Прикладная эконометрика. — 2014. — № 33(1). — С. 3–29.
15. *Пыхов П. А., Кашина Т. О.* Инфраструктура как объект экономических исследований // Журнал экономической теории. — 2016. — № 1. — С. 39–46.
16. *Ромер Д.* Высшая макроэкономика. — 2-е изд. — М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2015. — 855 с.
17. *Румянцева С. Ю.* Движущие силы длинных волн. Проблемы развития методологии Н. Д. Кондратьева // Вестн. С-Петербург. ун-та. Сер. 5. Экономика. — 1998. — Вып. 3. — № 19.
18. *Светлов Н. М.* Эконометрический анализ развития сухопутных транспортных сетей // Экономика и математические методы. — 2016. — № 2 — С. 60–74.
19. *Фаджиоло Д., Ровентини А.* О научном статусе экономической политики: повесть об альтернативных парадигмах // Вопросы экономики. — 2009. — № 6. — С. 24–47.
20. Экономические циклы и экономический рост / Акаев А. А., Румянцева С. Ю., Сарыгулов А. И. и др. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 456 с.
21. *Aghion P, Howitt P.* Endogenous Growth Theory. — Cambridge, MA: MIT Press, 1998. — 708 p.
22. *Aghion P, Howitt P.* A model of growth through creative destruction // *Econometrica*. — 1992. — Vol. 60. — No. 2. — P. 323–351.
23. *Aghion P, Howitt P.* Appropriate Growth Policy: A Unifying Framework // *Journal of the European Economic Association*. — 2006. — Vol. 4 (April-May). — P. 269–314.
24. *Aghion P, Howitt P.* The Economics of Growth. — Cambridge, MA: MIT Press, 2009. — 512 p.
25. *Atkeson Andrew, Kehoe Patrick J.* Modeling the Transition to a New Economy: Lessons from Two Technological Revolutions // *American Economic Review*. — 2007. — Vol. 97. — No. 1. — P. 64–88.
26. *Bresnahan T., Trajtenberg M.* General Purpose Technologies «Engines of Growth»? // *Journal of Econometrics*, Elsevier. — 1995. — Vol. 65. — No. 1. — P. 83–108.
27. *Buiter W.* The unfortunate uselessness of most 'state of the art' academic monetary economics [Сайт]. URL: <http://www.voxeu.org/article/macroeconomics-crisis-irrelevance> (дата обращения: 02.03.2016).
28. *Carlaw K. I., Lipsey R. G.* GPT-Driven, Endogenous Growth // *Economic Journal*. — 2006. — Vol. 116. — No. 508. — P. 155–174.
29. *Carlaw K. I., Lipsey R. G.* Sustained endogenous growth driven by structured and evolving general purpose technologies // *Journal of Evolutionary Economics*. — 2011. — Vol. 21. — Issue 4 (October). — P. 563–593.
30. *Carlaw K. I., Lipsey R. G., Webb R.* Has the ICT Revolution Run its Course? // Department of Economics, Simon Fraser University, Discussion Papers 01/2007. [Сайт]. URL: <http://www.sfu.ca/econ-research/RePEc/sfu/studps/dp07-18.pdf> (дата обращения: 02.04.2016).
31. *Castellacci F.* Structural change and the growth of industrial sectors: empirical test of a GPT model // *Review of Income and Wealth*. — 2010. — Vol. 56. — Issue 3 (September). — P. 449–482.
32. *David Paul A.* The dynamo and the computer: An historical perspective on the modern productivity paradox // *American Economic Review*. — 1990. — Vol. 80. — Issue 2. — P. 355–61.
33. *Dudley Leonard.* General Purpose Technologies and the Industrial Revolution // *Papers on Economics and Evolution*, № 1011. — 2011 [сайт]. URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:27-20110628-135755-6> (дата обращения: 02.02.2016).
34. *Eriksson Clas, Thomas Lindh.* Growth cycles with technology shifts and externalities // *Economic Modelling*. — 2000. — Vol. 17. — No 1. — P. 139–170.
35. *Freeman C., Louça F.* As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution. — Oxford: Oxford University Press, 2001. — 407 p.
36. *Goodfriend M., King R. G.* The New Neoclassical Synthesis and the Role of Monetary Policy // *NBER Macroeconomics Annual 1997* / B. S. Bernanke, J. J. Rotemberg (ed.). — Cambridge, MA: MIT Press, 1997. — P. 231–283.
37. *Graham S. J. H., Iacopetta M., Youtie J.* Assessing the Nature of Nanotechnology: Can We Uncover an Emerging General Purpose Technology? // *Journal of Technology Transfer*. — 2008. — Vol. 33. — Issue 3. — P. 315–329.
38. *Grossman G., Helpman E.* Quality Ladders in the Theory of Growth // *Review of Economic Studies*. — 1991. — Vol. LVIII. — P. 43–61.
39. *Grossman G., Helpman E.* Innovation and Growth in the Global Economy. — Cambridge, MA: MIT Press, 1991. — 375 p.
40. *Helpman E., Trajtenberg M.* A Time to Sow and a Time to Reap: Growth Based on General Purpose Technologies / Helpman Elhanan (ed.). *General Purpose Technologies and Economic Growth*. — Cambridge, MA: MIT Press, 1998. — P. 55–83.
41. *Hirooka M.* Innovation Dynamism and Economic Growth. A Nonlinear Perspective. — Cheltenham, UK — Northampton, MA: Edward Elgar, 2006. — 448 p.

42. Jones C. R&D-Based Models of Economic Growth // Journal of Political Economy. — 1995. — Vol. 103. — Issue 4. — P. 759–784.
43. Jones C. I. Was an Industrial Revolution Inevitable? Economic Growth over the Very Long Run // Advances in Macroeconomics. — 2001. — Vol. 1. — Issue 2. — P. 1–45.
44. Jovanovic B., Rob R. Long Waves and Short Waves: Growth Through Intensive and Extensive Search // Econometrica. — 1990. — Vol. 58. — No. 6. — P. 1391–1409.
45. Jovanovic Boyan, Peter L. Rousseau. General purpose technologies // NBER Working Paper 11093, 2005. — 51 p.
46. Larin B. Economic Growth with Bubbles: Comment (July 30, 2014) [сайт]. URL: <http://ssrn.com/abstract=2461651> (дата обращения: 01.02.2016).
47. Lillquist Erik, Waldeck Sarah. Government Intervention in Emerging Networked Technologies // Seton Hall Public Law Research Paper No. 940870, 2006.
48. Lipsey Richard G., Bekar Cliff, Carlaw Ken. What Requires Explanation? / Helpman Elhanan (ed.). General Purpose Technologies and Economic Growth. — Cambridge, MA: MIT Press, 1998. — P. 15–54.
49. Lucas R. Econometric Policy Evaluation: A Critique // Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy. — 1976. — No. 1. — P. 19–46.
50. Mowery D. C., Rosenberg N. Paths of Innovation. — Cambridge: Cambridge University Press, 1998. — 224 p.
51. Perez C. Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages. — Cheltenham, U.K.: Edward Elgar, 2002. — 224 p. (перевод: Перес К. Технологические революции и финансовый капитал. Динамика пузырей и периодов процветания. — М.: Дело, 2011. — 232 с.)
52. Rayna T., Striukova L. The curse of the first-mover: when incremental innovation leads to radical change // Int. J. Collaborative Enterprise. — 2009. — Vol. 1. — No. 1. — P. 4–21.
53. Romer P. Endogenous Technological Change // Journal of Political Economy. — 1990. — Vol. 98. — No. 5. — S. 71–102.
54. Romer Paul M. Growth Based on Increasing Returns Due to Specialization // The American Economic Review. — 1987. — Vol. 77. — No. 2. — P. 56–62.
55. Romer Paul M. Human Capital and Growth: Theory and Evidence / NBER, Working Paper № 3173, 1989. — 51 p.
56. Segerstrom P. Endogenous Growth Without Scale Effects // American Economic Review. — 1998. — Vol. 88. — Issue 5. — P. 1290–1310.
57. Segerstrom P., Anant T. C. A., Dinopoulos E. A Schumpeterian Model of the Product Life Cycle // American Economic Review. — 1990. — Vol. 80. — No. 5. — P. 1077–1092.
58. Solow R. Prepared Statement of Robert Solow, Professor Emeritus, MIT, to the House Committee on Science and Technology, Subcommittee on Investigations and Oversight: «Building a Science of Economics for the Real World», July 20. 2010. URL: [http://www2.econ.iastate.edu/classes/econ502/tesfatsion/Solow.State OfMacro.CongressionalTestimony.July2010.pdf](http://www2.econ.iastate.edu/classes/econ502/tesfatsion/Solow.State%20OfMacro.CongressionalTestimony.July2010.pdf).
59. Stieglitz N., Heine K. Innovations and the role of complementarities in a strategic theory of the firm // Strategic Management Journal. — 2007. — Vol. 28. — No. 1. — P. 1–15.
60. Teece D. J. Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy // Research Policy. — 1986. — Vol. 15. — No. 6. — P. 285–305.