

Взаимосвязь инновационного развития и организационной структуры предприятий и отраслей (на примере авиастроения)



Е. Ю. Байбакова,
аспирант
e-mail: elenabaibakova@mail.ru



В. В. Клочков,
Д. Э. Н., В. Н. С.
e-mail: vlad_klochkov@mail.ru

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН)

Изучается влияние информационных технологий на инновации в сфере организационных структур (в частности, формирование сетевых и виртуальных предприятий). Также рассмотрено изменение оптимальной организационной структуры на протяжении жизненного цикла инновации.

Ключевые слова: сетевые структуры, транзакционные издержки, информационные технологии, организационные и технологические инновации, когнитивный барьер.

Введение

Одним из самых значимых организационных новшеств конца XX – начала XXI века во многих отраслях промышленности стал переход от традиционной вертикально интегрированной организационной структуры (см. рис. 1) к *сетевым*, или *матричным*. В таких структурах (см. рис. 2) выделяются специализированные поставщики комплектующих изделий и производственных услуг, а также системные интеграторы – носители бренда, поставляющие финальные изделия или услуги потребителям. Следует особо подчеркнуть, что, хотя эти предприятия тесно связаны, с технологической точки зрения, как звенья производственной цепочки, они уже не являются жестко вертикально интегрированными, и формально независимы. По классификации, предложенной в работе [10], жесткая интеграция уступает место «мягкой», основанной не на иерархическом подчинении, а на общих экономических интересах.

Такая трансформация организационных структур происходит во многих отраслях зарубежной наукоемкой и высокотехнологичной промышленности. Так, например, в авиационной промышленности США, с одной стороны, в 1990-х гг. произошла консолидация производителей финальных изделий (самолетов). Так, компания «McDonnell Douglas» слилась с компанией «Boeing», и т. д. Но, с другой стороны, это отнюдь не

означает, что в отрасли отныне действует монолитная вертикально интегрированная корпорация. Напротив, «в вертикальном измерении» произошла дезинтеграция, фрагментация технологической цепочки. На линию финальной сборки самолетов «Боинг» поставляют комплектующие изделия и готовые модули несколько сотен специализированных поставщиков, которые, в то же время, поставляют аналогичную продукцию и другим системным интеграторам, конкурирующим с «Боингом» – европейскому консорциуму «Airbus Industry», и др.

Обращение к отраслевой статистике подтверждает описанную тенденцию. На рис. 3 приведены построенные по данным официальных статистических сборников [12] графики численности предприятий, относящихся к отрасли самолетостроения, в США в 1997–2007 гг.

По основной оси ординат отображено изменение числа компаний (немаркированная линия), предприятий (линия с квадратными маркерами). Видно, что на протяжении 1997–2007 гг. число компаний и предприятий в американском авиастроении возросло, несмотря на консолидацию финальных производителей. Причем, увеличивалось и число предприятий с численностью занятых от 1 до 19 человек (линия с треугольными маркерами), доля которых составляет около половины. Особо подчеркнем, что такое увеличение количества фирм происходило отнюдь не по

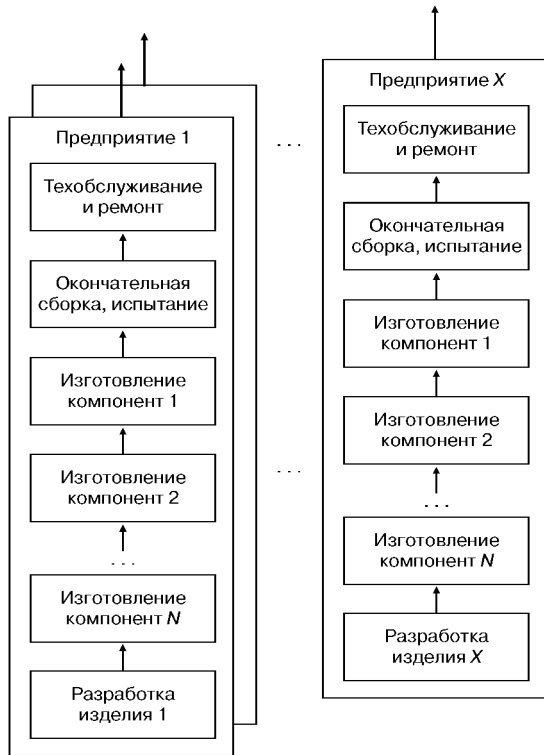


Рис. 1. Отрасль с вертикально интегрированными предприятиями

Как показано в ряде работ (например [1]), переход от вертикальной интеграции к матричной структуре производства дает возможность сокращения себестоимости благодаря повышению масштабов выпуска и ассортимента продукции специализированных производителей. Что касается негативных последствий такого изменения структуры предприятий и отраслей, прежде всего, обращают внимание на повышение транзакционных издержек, а также контрактных рисков. Однако развитие информационных технологий (ИТ) — прежде всего, технологий безбумажного информационного обмена, CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support, непрерывная информационная поддержка жизненного цикла, см. [5]) — позволяет сократить влияние негативных институциональных факторов до приемлемого уровня. Системные интеграторы могут формировать так называемые *виртуальные предприятия* с переменным составом *агентов*, т. е. специализированных поставщиков. Возможность быстрой и дешевой замены агента подавляет его оппортунистические устремления, а также минимизирует ущерб от форс-мажорных обстоятельств (например, повышения транспортных издержек, усиления таможенных барьеров и т. п.). В связи с этим, многие исследователи сходятся в том, что именно ИТ открыли дорогу к описанной реструктуризации промышленности, к массовому формированию виртуальных предприятий и межфирменных сетей (см., например [11, 13, 16]). В этих же работах приводятся многочисленные примеры описанных процессов реструктуризации в различных отраслях зарубежной промышленности.

В то же время, есть и другие необходимые условия, без которых невозможна описанная фрагментация

причине возрастания общего числа занятых в отрасли — напротив, число занятых значительно сокращалось на протяжении указанного периода, что отображено на рис. 3 штриховой линией (по вспомогательной оси ординат).

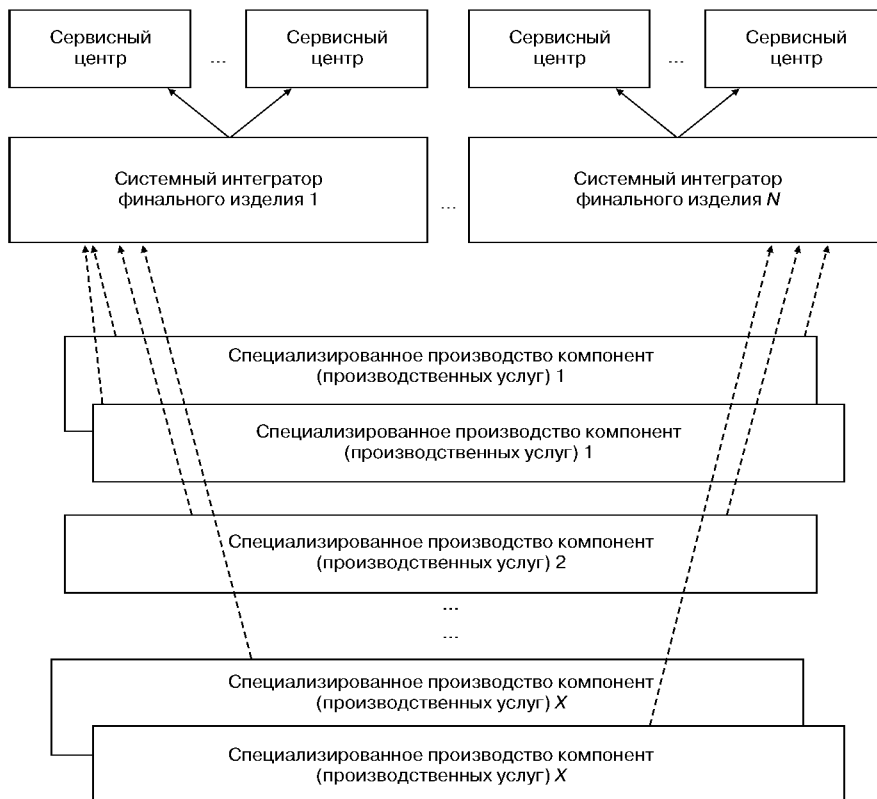


Рис. 2. Сетевые организационные структуры и фрагментация технологических цепочек

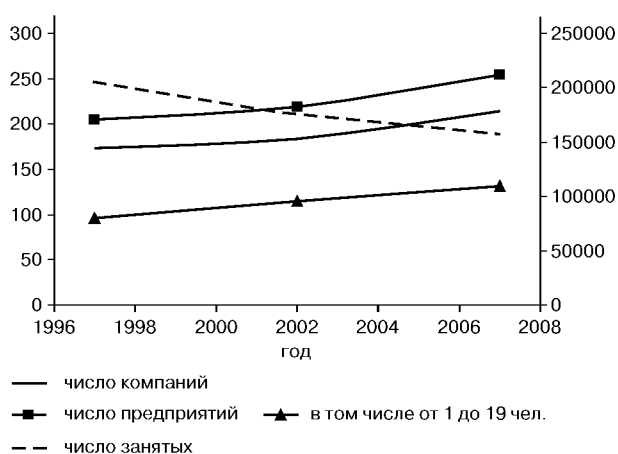


Рис. 3. Изменение количества самолетостроительных компаний в США, 1997–2007 гг.

технологических цепочек. Прежде всего, к таким условиям относится так называемая *открытая архитектура* продукта — иначе говоря, модульная конструкция изделий и обеспечение совместимости с изделием любых модулей данного вида, обладающих стандартизированным «интерфейсом». Примерами являются не только компьютеры, но и многие изделия машиностроения. Так, современные гражданские самолеты, в силу практически одинаковой конструкции и стандартизированной размерности, допускают установку авиадвигателей (соответствующих, также стандартизованных, классов) различных конкурирующих производителей, причем, на некоторых моделях альтернативные типы двигателей взаимозаменяемы. Еще сильнее унификация различных агрегатов и бортовой электронной аппаратуры.

В данной работе рассматриваются два вопроса:

- Каковы экономические последствия инновационного развития организационных структур в наукоемкой промышленности, в т.ч. формирования сетевых структур и виртуальных предприятий на основе ИТ?
- Как эволюция организационных структур предприятий и отраслей связана со стадиями жизненного цикла инноваций?

Влияние информационных технологий на транзакционные издержки в наукоемкой промышленности

Определяющее влияние на экономическую теорию организационных структур оказала экономика транзакционных издержек (ТСЕ, Transaction Cost Economics, основоположником которой считается нобелевский лауреат 2009 г. О. Уильямсон, см. [17]), в рамках которой, в свою очередь, до сих пор преобладает следующий тезис: «*Эффективные организационные структуры предприятий и отраслей нацелены на минимизацию транзакционных затрат*».

И при обсуждении экономической эффективности ИТ в данной сфере, прежде всего говорят о том, что их внедрение позволяет значимо снизить транзакционные затраты и потери на смену контрагентов, см., например [5, 13]. Однако даже в предложенной авторами упро-

щенной модели эффективности перехода к сетевым структурам и формирования виртуальных предприятий [1] далеко не всегда оптимальными оказываются те варианты, которые соответствуют минимуму этих затрат. Активная смена агентов виртуальных предприятий определенно потребует дополнительных транзакционных издержек. Но она может быть в целом эффективнее пассивной стратегии поведения предприятий в сетевых структурах, когда заказчик сотрудничает с единственным поставщиком. В последнем случае закупочная цена может повышаться по причинам оппортунизма поставщика или форс-мажорных обстоятельств, а при гибкой смене контрагентов можно вовремя «переключаться» на более выгодных поставщиков. Т. е. при переходе к гибкой смене поставщиков в сетевых структурах может выполняться следующее соотношение:

$$TC^{\text{гибк}} = C_{\text{транзакц}}^{\text{гибк}} + C_{\text{произв}}^{\text{гибк}} < TC^{\text{жестк}} = C_{\text{транзакц}}^{\text{жестк}} + C_{\text{произв}}^{\text{жестк}}$$

хотя транзакционные издержки при этом будут определено выше

$$C_{\text{транзакц}}^{\text{гибк}} > C_{\text{транзакц}}^{\text{жестк}}$$

поскольку производственные издержки могут снижаться благодаря своевременному «переключению» на более выгодных контрагентов:

$$C_{\text{произв}}^{\text{гибк}} < C_{\text{произв}}^{\text{жестк}}$$

где $TC^{\text{гибк}}$, $TC^{\text{жестк}}$ — общие издержки (при заданном выпуске финальных изделий), соответственно, при гибкой смене контрагентов и при жесткой интеграции предприятий в сетевых структурах;

$$C_{\text{транзакц}}^{\text{гибк}}, C_{\text{произв}}^{\text{гибк}} —$$

суммарные транзакционные и суммарные производственные издержки (при заданном выпуске финальных изделий) при гибкой смене контрагентов;

$$C_{\text{транзакц}}^{\text{жестк}}, C_{\text{произв}}^{\text{жестк}} —$$

суммарные транзакционные и суммарные производственные издержки (при заданном выпуске финальных изделий) при жесткой интеграции предприятий в сетевых структурах.

В свою очередь, сам переход к сетевым структурам от вертикальной интеграции заведомо сопряжен с ростом транзакционных издержек (и, заметим, контрактных рисков). Т. е. все эти варианты заведомо проигрывают альтернативным в части транзакционных затрат. Однако ценой повышения транзакционных издержек нередко удается достичь гораздо более существенной экономии производственных, трансформационных затрат, и, как следствие — большей эффективности работы предприятия. Более того, как известно даже из общей экономической теории, далеко не обязательно будет эффективным именно снижение затрат, пусть даже суммарных. Нередко оптимальные решения сопряжены с ростом общих издержек, но обеспечивают еще больший рост выручки и, как следствие — рост прибыли, рентабельности или другого обобщающего показателя эффективности работы предприятия. Стереотип, связывающий повышение эффективности предприятий со снижением издержек, особенно губи-

телен для наукоемких отраслей, в которых значимы качество продукции, сроки ее выхода на рынки и т. п. неценовые факторы (подробнее см. [8]).

Описанный эффект возрастания транзакционных затрат при внедрении информационных технологий аналогичен так называемому *эффекту рикошета*, широко известному в экономике энергетики и экономике природопользования (energy & environmental economics), см. [15]: по мере **снижения удельных затрат**, **суммарные** затраты могут **возрастать** (нередко — скачкообразно). В обоих случаях непосредственное объяснение этому феномену таково: снижение благодаря инновациям удельных значений определенных издержек (транзакционных или ресурсных) приводит к тому, что определенная технология или стратегия становится выгоднее прежней (по сумме полных затрат, или другому обобщающему критерию), и экономические агенты «переключаются» на нее. Причем, новая технология или стратегия отличается большим значением удельных затрат (даже после их сокращения), чем использовавшаяся ранее. Так, например, повышение топливной экономичности самолетов привело к удешевлению авиаперевозок и массовому «переключению» пассажиров с наземного на авиационный транспорт. При этом, даже после повышения экономичности, воздушный транспорт все равно обладает более высоким удельным расходом топлива, чем железнодорожный. И в итоге суммарное потребление энергоносителей возрастает. Аналогично, если благодаря внедрению CALS-технологий удельные транзакционные затраты и потери (приходящиеся на одну смену контрагента или на единицу закупаемой продукции) сокращаются, сетевая структура может стать более экономически эффективной в смысле сокращения суммарных затрат, чем вертикально интегрированная. Прежде всего, как показано авторами в работе [1], это достигается благодаря снижению производственных, трансформационных издержек, при неизбежном повышении транзакционных затрат. В итоге общий уровень транзакционных затрат в отрасли может возрасти вследствие массового перехода предприятий от вертикально интегрированной структуры к сетевым. Т. е. изначально жесткая вертикальная интеграция предприятий была выгоднее перехода к сетевой структуре с активной сменой контрагентов:

$$TC_{\text{гибк}} = C_{\text{транзакц}}^{\text{гибк}} + C_{\text{произв}}^{\text{гибк}} > TC_{\text{верт_интегр}} = C_{\text{транзакц}}^{\text{верт_интегр}} + C_{\text{произв}}^{\text{верт_интегр}},$$

в силу высокого уровня удельных затрат на смену контрагента:

$$C_{\text{транзакц}}^{\text{гибк}} = C_{\text{транзакц}}^{\text{верт_интегр}} \nu_{\text{смены}} \gg C_{\text{транзакц}}^{\text{верт_интегр}} \approx 0,$$

несмотря на то, что производственные издержки при заданном выпуске финальной продукции в сетевых структурах существенно ниже:

$$C_{\text{произв}}^{\text{гибк}} < C_{\text{произв}}^{\text{верт_интегр}},$$

здесь $TC_{\text{верт_интегр}}$ — общие издержки (при заданном выпуске финальных изделий) при вертикальной интеграции технологической цепочки;

$$C_{\text{транзакц}}^{\text{верт_интегр}}, C_{\text{произв}}^{\text{верт_интегр}} —$$

суммарные транзакционные и суммарные производственные издержки (при заданном выпуске финальных изделий) при вертикальной интеграции технологической цепочки;

$$C_{\text{транзакц}}^{\text{гибк}}, C_{\text{произв}}^{\text{гибк}} —$$

суммарные транзакционные и суммарные производственные издержки (при заданном выпуске финальных изделий) при гибкой смене контрагентов; $c_{\text{транзакц}}$ — удельные транзакционные издержки в расчете на одну смену контрагента; $\nu_{\text{смены}}$ — средняя частота смены контрагентов, за период.

Однако, если ИТ позволят существенно сократить удельные транзакционные издержки на смену контрагента (далее штрихом обозначены величины после внедрения ИТ):

$$c'_{\text{транзакц}} < c_{\text{транзакц}},$$

знак первого неравенства может поменяться на противоположный:

$$TC_{\text{гибк}} = C_{\text{транзакц}}^{\text{гибк}} + C_{\text{произв}}^{\text{гибк}} < TC_{\text{верт_интегр}} = C_{\text{транзакц}}^{\text{верт_интегр}} + C_{\text{произв}}^{\text{верт_интегр}}$$

и станет выгоднее организовать данное производство в виде сетевой структуры с гибкой сменой контрагентов. Но при этом уровень транзакционных издержек возрастет по сравнению с вертикальной интеграцией (при которой транзакционные затраты минимальны):

$$C_{\text{транзакц}}^{\text{гибк}} = c_{\text{транзакц}} \nu_{\text{смены}} > C_{\text{транзакц}}^{\text{верт_интегр}} \approx 0,$$

при том, что удельные транзакционные затраты сократились.

Предложенные в [1] упрощенные экономико-математические модели даже позволяют количественно оценить соответствующие уровни транзакционных и производственных издержек при различной организации бизнеса. Можно построить зависимость суммарных (или приходящихся на единицу продукции) транзакционных издержек от их удельного значения, и оценить эффект его снижения (например, благодаря внедрению ИТ). Расчеты, проведенные в работе [1] в рамках предложенных моделей, показывают, что это снижение может привести к существенному росту уровня транзакционных издержек в отрасли, поскольку многие фирмы переходят от жесткой вертикальной интеграции (при которой транзакционные издержки минимальны) к сетевым структурам и к стратегии гибкой смены контрагентов. Насколько реалистичен этот результат модельных расчетов?

Непосредственное изменение транзакционных издержек, тем более, на макроуровне, в настоящее время затруднено, поскольку существующая система статистической отчетности (как в России, так и за рубежом) не нацелена на выделение транзакционных и трансформационных затрат. Косвенно тезис о возрастании транзакционных затрат в современной зарубежной экономике подтверждается существенным возрастанием количества занятых не в сфере материального производства товаров и услуг, а в сфере обработки информации. Так, по данным международных организаций (ООН, ЮНЕСКО) и экономистов, изучающих проблемы так называемого *информационного обще-*

ства, в экономически развитых странах мира еще к началу 1990-х гг. доля занятых в этой сфере превысила 50%. Причем, следует подчеркнуть, что это, главным образом, работники, занятые сбором, анализом, защитой и распространением управленческой, рыночной и т. п., а не научно-технической информации. Так, детальный анализ изменения занятости в различных видах деятельности, проведенный в работе [4] на основании официальных статистических данных, свидетельствует о том, что в наиболее экономически развитых странах мира существенно росла доля занятых в сфере управления, консультирования, маркетинга и т. п., а отнюдь не в проектно-конструкторской или научно-исследовательской деятельности¹. Т. е. можно достаточно уверенно утверждать, что наблюдается бурный рост количества занятых именно в транзакционной сфере.

Для того, чтобы внедрение описанных технологических (ИТ) и организационных (сетевые структуры, виртуальные предприятия) инноваций было выгодным для предприятий — а иначе оно не реализуется в рыночной экономике — необходимо, чтобы суммарная экономия производственных затрат была выше, чем совокупный прирост транзакционных издержек. Подчеркнем, что ИТ в данном случае (как и во многих других, см. [5, 14]) приносят косвенный эффект, т. е. не сами по себе приводят к снижению издержек, а лишь позволяют реализовать новые, более эффективные стратегии бизнеса. Прямой же эффект — изменение транзакционных затрат — вполне может быть противоположным ожидавшемуся изначально. Во многом, именно описанный здесь «эффект рикошета» объясняет такое, на первый взгляд, противоречивое явление: несмотря на то, что ИТ были призваны сократить разнообразные транзакционные издержки — на поиск и смену контрагентов, на поиск и анализ информации, на выработку рациональных хозяйственных решений и т. п. — суммарный уровень этих издержек возрастает! В соответствующих сферах (транзакционной, аналитической и т. п.), а также в сфере производства и обслуживания информационных систем, работает все больше сотрудников, получающих значительные доходы. Такой «парадокс» дал повод ряду исследователей утверждать, что ИТ неэффективны², поскольку они не выполнили даже основную задачу, декларируемую при их внедрении, см., например, [14]. Однако, как показано здесь, возрастание совокупных транзакционных издержек еще никоим образом не свидетельствует о неэффективности ИТ. Наблюдаемые эффекты, вероятно, связаны именно с тем, что ранее, пока описанные стратегии поведения (активная смена контрагентов, адаптивная выработка управленческих решений и т. п.) были дорогостоящими, они практически не использовались. Когда же соответствующие удельные

затраты снизились благодаря внедрению ИТ, они стали применяться массово, что и вызвало рост абсолютной суммы транзакционных затрат и абсолютного количества работников, занятых в соответствующей сфере. Еще раз подчеркнем, что имеет значение не снижение транзакционных затрат как таковых, а снижение суммарных затрат (производственных и транзакционных), или повышение другого обобщающего критерия работы предприятий, достигаемое благодаря внедрению новых технологий.

Влияние организационной структуры на эффективность разработки инновационной продукции

Организационная структура влияет не только на эффективность производства продукции, но и на эффективность инновационных разработок, что критически важно для наукоемких отраслей. Переход к сетевым структурам, распространение аутсорсинга в сфере разработки и производства сложных изделий обострили в современной наукоемкой промышленности проблему *фрагментации знаний*, что отмечают и другие исследователи, см. [16]. Весьма вероятно возникновение так называемого *когнитивного барьера*, т. е. потери субподрядчиками и системным интегратором целостного представления о сложном изделии. В работе [2], в которой данное понятие было введено³, предложен следующий подход к количественной оценке значимости когнитивного барьера.

Пусть сложное изделие включает в себя элементарные компоненты (детали, элементарные производственные операции) $i=1, \dots, n$. Степень взаимосвязи между ними можно описать квадратной матрицей размерностью $n \times n$. Понимание этих связей, т. е. комплексное представление о продукте, позволяет по каждой компоненте выбрать оптимальное, с глобальной точки зрения, проектное решение, в том числе, возможно, и решение об исключении данной компоненты. В противном случае, когда решаются независимые задачи оптимизации каждой компоненты (естественно, без возможности ее исключить), неучет взаимосвязи между компонентами i и j приводит к потере прибыли от реализации нового изделия, равной $\Delta\pi_{ij}$. Именно прибыль от реализации за весь ЖЦИ считается здесь интегральным показателем качества проектирования.

Общее количество взаимосвязей между компонентами финального изделия описывается следующей формулой:

$$S_{\Sigma}(n) = (n(n-1))/2. \quad (1)$$

Если системный интегратор закупает у специализированных поставщиков m агрегатов финального изделия, каждый агрегат содержит, в среднем, n/m элементов. Будем считать, что отдельный поставщик оптимизирует свой агрегат с позиций глобального оптимума для финального изделия в целом (что на

¹ Если не считать таковой маркетинговые исследования, рост спроса на которые напрямую свидетельствует о нарастании нестабильности рыночной конъюнктуры и повышении объема транзакционных затрат предприятий.

² При этом нельзя отрицать, что внедрение ИТ действительно может быть неэффективным и часто является таковым — по целому ряду причин (подробнее см., например, [5, 14]), в том числе и по причине некорректного понимания менеджерами организационно-экономических аспектов применения ИТ.

³ Термин «когнитивный барьер» используется в психологии и педагогике, однако применительно к экономике знаний и проблемам разработки наукоемкой продукции он был впервые предложен авторами в указанной работе.

практике далеко не всегда выполняется, поскольку возможен конфликт интересов между поставщиками и системным интегратором). При этом отдельный поставщик изучает и оптимизирует, в среднем, $((n/m)(n/m-1))/2$ связей. Все поставщики в сумме оптимизируют $(m(n/m)(n/m-1))/2 = (n(n/m-1))/2 = (n(n-m))/(2m)$ связей. Кроме того, сам системный интегратор согласует «входы» и «выходы» закупаемых агрегатов, что добавляет еще $(m(m-1))/2$ взаимосвязей. Итого общее число взаимосвязей, учтенных в процессе НИОКР, выражается следующей формулой:

$$S_{\text{cons}}(n; m) = (m(m-1))/2 + (n(n-m))/(2m). \quad (2)$$

Соответственно, число неучтенных взаимосвязей равно следующей разности:

$$\begin{aligned} S_{\text{uncons}}(n; m) &= S_{\Sigma}(n) - S_{\text{cons}}(n; m) = \\ &= (n(n-1))/2 - (m(m-1))/2 - (n(n-m))/(2m) = \\ &= (mn(n-1) - m^2(m-1) - n(n-m))/(2m) = \\ &= ((m-1)(n^2 - m^2))/(2m), m=1, \dots, n. \end{aligned} \quad (3)$$

Полученное выражение изменяется немонотонным образом по мере увеличения числа закупаемых агрегатов m от 1 до n . Заметим, что оба эти крайних значения соответствуют централизованному проектированию всего изделия (хотя случай $m=1$ практически является вырожденным: он означает, что системный интегратор закупает изделие в целом у другого системного интегратора), и в этих случаях, как и следовало ожидать, неучтенных взаимосвязей нет ($S_{\text{uncons}}(n; 1) = S_{\text{uncons}}(n; n) = 0$). В промежуточных точках полученная функция сначала резко возрастает, а затем начинает плавно убывать, см. рис. 4.

Заметим, что немонотонный характер полученной зависимости отражает отмеченную выше немонотонность изменения высоты когнитивного барьера по мере углубления фрагментации технологических цепочек. Причем, наиболее высоким этот барьер, действительно, будет в том случае, если системный интегратор закупает у поставщиков крупные ($m \ll n$) законченные функциональные блоки.

Далее необходимо описать потери из-за неучета тех или иных взаимосвязей, а также затраты на их учет в

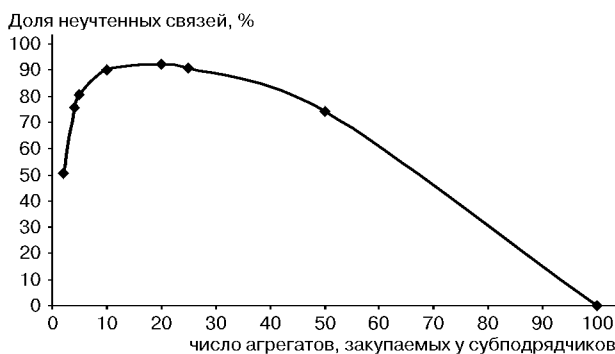


Рис. 4. Изменение высоты когнитивного барьера по мере углубления фрагментации технологических цепочек ($n=100$)

процессе разработки нового изделия. Будем считать, что неучет взаимосвязей приводит к потере прибыли от реализации изделия относительно максимально достижимого уровня (глобального оптимума). На ранних стадиях жизненного цикла новой технологии величины $\{\Delta\pi_{ij}\}$, определяющие значимость связей между теми или иными компонентами, еще неизвестны. Строго говоря, планируя НИОКР по изделию в целом и по отдельным его компонентам, системный интегратор руководствуется лишь своей субъективной оценкой значимости той или иной связи $\{\Delta\pi_{ij}\}_{\text{оц}}$. Вначале (в момент времени $t=0$, считая от начала ЖЦ ТУ) все связи априори полагаются равноценными: $\{\Delta\pi_{ij}\}_{\text{оц}} \equiv \Delta\pi_0$, где $\Delta\pi_0$ — априорная оценка значимости связи между элементами. По мере накопления опыта разработки, производства и эксплуатации изделий, оценки стремятся к своим истинным значениям $\{\Delta\pi_{ij}\}$ — например, по аperiodическому закону следующего вида:

$$\begin{aligned} (\Delta\pi_{ij}(t))_{\text{оц}} &= \Delta\pi_0 \exp(-\lambda t) + \Delta\pi_{ij}(1 - \exp(-\lambda t)) = \\ &= \Delta\pi_{ij} + (\Delta\pi_0 - \Delta\pi_{ij}) \exp(-\lambda t). \end{aligned} \quad (4)$$

Параметр λ можно трактовать как темп накопления знаний об изделии и взаимосвязи его элементов. Планируя организацию НИОКР, системный интегратор принимает решение о том, следует ли учитывать ту или иную связь между элементами, или она является мало-значительной. Пусть известна среднестатистическая стоимость учета одной связи в процессе проектирования изделия $(c_{\text{link}})_{\text{cp}}$. Тогда, если $(\Delta\pi_{ij}(t))_{\text{оц}} > (c_{\text{link}})_{\text{cp}}$, связь между компонентами i и j считается важной и учитывается в процессе проектирования и системной интеграции. В самом начале ЖЦ ТУ все связи априори считаются значимыми: $\Delta\pi_0 > (c_{\text{link}})_{\text{cp}}$ и учитываются в процессе проектирования финального изделия. Т. е. в начале ЖЦ ТУ системному интегратору выгоднее самостоятельно вести НИОКР по всему изделию в целом (как и предполагалось в качественных рассуждениях, предшествовавших построению данной модели). Однако по мере накопления знаний об изделии как целостной системе, часть связей оказывается мало-значительными (поскольку фактически $\Delta\pi_{ij} < (c_{\text{link}})_{\text{cp}}$) и исключается из рассмотрения, см. рис. 5.

Оставшиеся взаимосвязи, напротив, учитываются в процессе проектирования более тщательно, поскольку, по мере «вымывания» малозначительных связей,

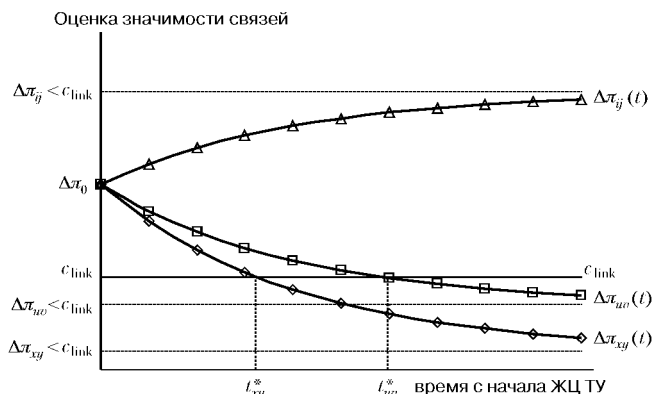


Рис. 5. Изменение со временем оценки значимости взаимосвязей между различными элементами сложного изделия

среднестатистическая значимость оставшихся связей растет. Найдем момент времени t^*_{ij} (относительно начала ЖЦ данной технологии), когда малозначительная связь будет признана таковой и исключена из рассмотрения в процессе разработки изделий:

$$(\Delta\pi_{ij}(t^*_{ij}))_{\text{ог}} = \Delta\pi_{ij} + (\Delta\pi_0 - \Delta\pi_{ij}) \exp(-\lambda t^*_{ij}) = (c_{\text{link}})_{\text{cp}},$$

$$\Rightarrow \exp(-\lambda t^*_{ij}) = (\Delta\pi_0 - \Delta\pi_{ij}) / ((c_{\text{link}})_{\text{cp}} - \Delta\pi_{ij}),$$

или

$$t^*_{ij} = (1/\lambda) \ln((\Delta\pi_0 - \Delta\pi_{ij}) / ((c_{\text{link}})_{\text{cp}} - \Delta\pi_{ij})) =$$

$$= (1/\lambda) [\ln(\Delta\pi_0 - \Delta\pi_{ij}) - \ln((c_{\text{link}})_{\text{cp}} - \Delta\pi_{ij})]. \quad (5)$$

Итак, если $\Delta\pi_{ij} < (c_{\text{link}})_{\text{cp}}$, после t^*_{ij} взаимосвязь между компонентами i и j исключается из рассмотрения в ходе проектирования изделия. Найдем общее количество связей, признанных несущественными в момент t :

$$S_{\text{unsuff}}(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \delta_{ij}(t), \quad (6)$$

где

$$\delta_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & \Delta\pi_{ij} < (c_{\text{link}})_{\text{cp}} \cup t > t^*_{ij} \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

индикатор, показывающий, учитывается ли в данный момент при разработке изделия взаимосвязь между компонентами i и j , или она является и уже считается несущественной.

На первый взгляд, для того, чтобы определить рациональную глубину фрагментации технологической цепочки на той или иной стадии ЖЦ новой технологии, достаточно сопоставить число $S_{\text{unsuff}}(t)$ с зависимостью $S_{\text{uncons}}(n; m)$, и найти соответствующее число агрегатов $m^*(t)$, на которые целесообразно делить финальное изделие в данный момент t . Однако зависимость $S_{\text{uncons}}(n; m)$ от m — немонотонна, и в принципе, решение может быть неединственным, см. рис. 4. Как трактовать возможный неоднозначный результат?

Прежде всего, заметим, что уже при $m=2$ доля неучтенных связей между элементами двух «черных ящиков» составит около 50%, и при дальнейшем углублении фрагментации будет только возрастать. Следовательно, если к началу разработки второго (после начала освоения принципиально новой технологии) поколения изделий более половины взаимосвязей между элементами еще считается существенными (т. е. $S_{\text{unsuff}}(t) < S_{\Sigma}/2$), это поколение изделий почти полностью разрабатывает системный интегратор (считается, что первое поколение он вынужден был разрабатывать полностью самостоятельно). Допустимое число агрегатов, которые разрабатываются и поставляются специализированными производителями, довольно велико и близко к n . Т. е. возможен лишь аутсорсинг разработки относительно простых агрегатов, а не крупных функциональных модулей изделия, что соответствует движению «справа налево» на рис. 6. В противоположном случае возможно, что по мере накопления знаний о структуре изделия, сравнительно быстро выделится несколько крупных фрагментов технологической цепочки, которые при

создании последующих поколений будут измельчаться далее с образованием цепочки субподрядов (движение «слева направо» на рис. 6).

Т. е. развитие событий зависит от темпа накопления знаний о взаимосвязях элементов финального изделия λ . Если он низок (по сравнению с частотой смены поколений изделий), гораздо вероятнее постепенное укрупнение агрегатов, закупаемых системным интегратором у независимых поставщиков, а не фрагментация крупных модулей. Также динамика фрагментации технологической цепочки сильно зависит от того, какие именно связи оказываются по мере накопления знаний несущественными. Если быстро выявляются кластеры сильно связанных друг с другом элементов изделия (на фоне слабости взаимосвязей элементов разных кластеров), они и образуют законченные функциональные модули, разработка которых может выделяться из состава вертикально интегрированного предприятия. Последнее станет лишь системным интегратором этих модулей. Напротив, возможно, что даже при $S_{\text{unsuff}}(t) \rightarrow S_{\Sigma}$, сильно взаимосвязанными окажутся такие детали, что выделение сравнительно обособленных модулей (т. е. модулизация, или переход к открытой архитектуре изделия) окажется невозможным. Так, например, на современных гражданских самолетах традиционной компоновки авиадвигатели представляют собой именно такие законченные функциональные модули, разрабатываемые и производимые независимо от воздушных судов, на которых они устанавливаются. Даже их расположение (подвеска на пилонах под крылом) позволяет использовать на одной модели самолета двигатели конкурирующих производителей, и наоборот. Разработчики самолетов предъявляют требования к двигателям, фактически, как к «черному ящику» — оговариваются тягово-динамические, массогабаритные, расходные и некоторые другие характеристики, но не конкретная конструкция и технологии изготовления. На истребителях, где двигатели уже занимают значительную долю объема планера, степень интеграции самолета и двигателя гораздо сильнее, и приходится более тщательно согласовывать их конструкцию по аэродинамическим, компоновочным и др. соображениям. Если же рассмотреть перспективные проекты авиадвигателей для гиперзвуковых летательных аппаратов, в частности так называемые *прямоточные* двигатели внешнего сгорания, в этих

Доля неучтенных связей

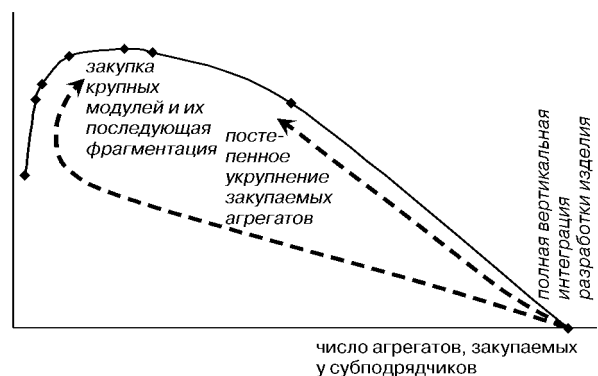


Рис. 6. Траектории изменения оптимальной организации НИОКР со временем

конструкциях определенные части планера одновременно выполняют роль элементов двигателя, и разделение их разработки (как и производства) становится принципиально невозможным.

Взаимосвязь стадий ЖЦ инноваций и организационных структур наукоемкой промышленности

Итак, «высота» когнитивного барьера неодинакова на разных стадиях *жизненного цикла* (ЖЦ) данной технологической инновации, или, вернее, соответствующего *технологического уклада* (ТУ), к которому принадлежит данная инновационная технология. В связи с этим, на разных стадиях ЖЦ ТУ становятся оптимальными различные виды организационных структур. На ранних стадиях целесообразна интеграция разработки изделия в целом. По мере накопления знаний о взаимосвязях элементов изделий, становится допустимой более глубокая фрагментация технологических цепочек, и в сфере НИОКР шире применяется аутсорсинг. Интересно упомянуть в этой связи статью [9] и некоторые работы зарубежных экономистов, на которые опирался ее автор. В них эмпирическим путем показано, что вдалеке от технологической границы (т. е. предела развития данной технологии, обобщенного объективными законами природы) вертикальная интеграция способствует ускорению экономического роста, но вблизи — тормозит его. Вдалеке от границы — иначе говоря, на начальном этапе развития данного ТУ. Действие когнитивного барьера также делает в этот период вертикальную интеграцию более предпочтительной. Таким образом, указанные работы не противоречат выдвигаемым нами тезисам.

В связи с переходом отечественной наукоемкой промышленности к матричным и сетевым структурам, нередко возникает следующий практический вопрос: что выгоднее — производить высокотехнологичные комплектующие и производственные услуги, либо выступать в качестве системного интегратора? В частности, бурная дискуссия по описанному поводу идет в российской авиационной промышленности: все ее новые проекты реализуются исключительно в кооперации с зарубежными партнерами. Причем, в двух основных проектах российского гражданского авиастроения — в проекте регионального пассажирского самолета Sukhoi Superjet и в проекте среднемагистрального самолета МС-21 (магистральный самолет XXI века) российские компании выступают как системные интеграторы, а доля импортных высокотехнологичных комплектующих превышает (во втором случае — существенно) 50% себестоимости изделия. Столь нетипичное для отечественного авиастроения положение дел не могло не вызвать ожесточенную дискуссию о правильности подобного стратегического выбора. Если рассматривать системных интеграторов и поставщиков как звенья технологических цепочек (промежуточные и конечные), на поставленный вопрос можно дать следующий ответ. Наибольшая доля добавленной стоимости (и, соответственно, доход) достанется тому звену, которое в данный момент (на данной стадии ЖЦ ТУ) является лидером инновационной гонки. И если поставщики комплектующих изделий и

производственных услуг могут заниматься, в основном, технологическими инновациями, то системные интеграторы — прежде всего, организационными. На завершающих стадиях ЖЦ ТУ уже сложнее ожидать инновационных прорывов в технологиях⁴, и на первый план выходят именно организационные инновации, что и отмечено в работе [3]. Т. е. роль системного интегратора, действительно, может оказаться более привлекательной, чем роль специализированного поставщика компонент, пусть даже сложных и дорогостоящих. Однако, на наш взгляд, неверно считать это долгосрочным и необратимым трендом, «концом истории». Если принять эту точку зрения, тогда наиболее развитые страны мира в принципе должны отказаться от разработки и производства всех материальных благ, оставив за собой только маркетинг, логистику и рекламу (отдельный вопрос — а возможно ли неограниченное инновационное развитие в данной сфере, если не будет технологических инноваций?). Кроме того, если страны — лидеры экономического развития вначале откажутся от производства, вынося его в страны третьего мира, а затем и от разработки (инжиниринга), вынося ее в страны «второго мира» — Восточную Европу, развитые страны АТР, и оставляя себе лишь предпринимательские функции, возникает следующий вопрос: а в чем будут заключаться их исключительные компетенции? Если в логистике, дистрибуции и т. п., то нет оснований полагать, что страны-имитаторы неспособны к этому. Если эти исключительные компетенции — в «создании смыслов», имиджа и бренда, опять же, у имитаторов нет никаких объективных оснований делегировать странам-лидерам эти функции и делиться существенной долей доходов. Следовательно, остаться лишь «производителями смыслов» наиболее экономически развитым странам современного мира удастся только двумя путями:

- путем силового принуждения стран третьего мира к заведомо неравноценному обмену (о чем говорилось в работе [7]);
- путем информационного управления, создавая вокруг «своих» (при всей условности этого определения, как обосновано выше) продуктов ореол исключительности, что, на данный момент, удается в отношении множества «легендарных» «западных» брендов (оба определения взяты в кавычки по объясненным выше причинам).

Так или иначе, страны — лидеры инновационной экономики занимаются и технологическими⁵ разработками, рассчитывая на то, что при смене ТУ большой выигрыш могут получить в том числе промежуточные звенья технологических цепочек. В то же время, в этот период, как показывает анализ поведения когнитивного барьера, инновационному лидеру желательно взять на себя и роль системного интегратора (за исключением тех редких случаев, когда прогресс затрагивает лишь строго определенную часть сложного изделия,

⁴ А, как обосновано в работе [6], гражданское авиастроение в последние годы находится именно на такой стадии своего развития.

⁵ В широком смысле — имеются в виду как физические, химические технологии, так и медицинские, биологические, психолого-педагогические и др.

не меняя качественно его структуры). Отсюда следует важное уточнение к тезису О. Г. Голиченко о том, что современные сложные изделия характеризуются открытой архитектурой (см. [3]): на наш взгляд, это не какая-то необратимая историческая тенденция, а именно характеристика современного этапа развития определенного (хотя и весьма широкого) круга технологий. Но на ранних стадиях ЖЦ нового ТУ инноваторам может быть невыгодным делать архитектуру продукта открытой. Далее технология утрачивает свой инновационный характер, и более актуальными становятся организационные инновации. В этот период можно углублять аутсорсинг, и происходит переход к сетевым структурам.

Кроме того, наблюдавшиеся до сих пор ТУ (при всей условности их деления) неоднородны по своему составу. И, например, пятый ТУ, в основе которого лежала информатизация и компьютеризация, оказал решающее влияние на структуру промышленности в «традиционных», далеких от электроники отраслях. Благодаря снижению транзакционных издержек стало возможным реализовать новые организационные стратегии предприятий, обсуждавшиеся выше. С одной стороны, это организационные инновации, но с другой — они стали возможными благодаря конкретным технологическим инновациям, а именно, развитию электронной техники, компьютеров, средств связи и т. п. Т. е. такое развитие организационных структур, которое наблюдалось на рубеже XX–XXI веков, являлось инновационным (предоставляя возможности извлечения значительной инновационной ренты) именно в период преобладания определенного — пятого — ТУ. Но утверждать, что в конце всякого ТУ будут преобладать именно организационные инновации, на наш взгляд, преждевременно.

Заключение

1. При внедрении информационных технологий может наблюдаться эффект, подобный эффекту рикошета: хотя ИТ снижают удельные транзакционные затраты на смену контрагента, суммарный уровень транзакционных издержек в экономике (как и число занятых в транзакционной сфере) может возрасти. Возможная причина в том, что предприятия при снижении удельных транзакционных затрат могут перейти от жесткой интеграции к стратегии активной смены контрагентов, формируя виртуальные предприятия. Однако, поскольку при этом суммарные издержки сокращаются и/или прибыль предприятий возрастает, сам по себе рост транзакционных затрат не является признаком неэффективности ИТ.
2. Как показывает проведенный анализ, в течение жизненного цикла данного технологического уклада может изменяться предпочтительная форма организации бизнеса (вертикальная интеграция или аутсорсинг и сетевые структуры, с той или иной глубиной специализации). Это обусловлено распределением инновационной ренты по цепочке создания добавленной стоимости. В начале ЖЦ ТУ инновации лежат в технологической сфере, и,

для получения максимальной ренты, инноватору целесообразно заниматься именно производством инновационного продукта. Вертикальная интеграция позволяет свести к минимуму когнитивные барьеры при разработке сложной продукции и получить максимальную ренту от инновации.

Список использованных источников

1. Е. Ю. Байбакова, В. В. Ключков. Экономические аспекты формирования сетевых организационных структур в российской наукоемкой промышленности//Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 «Сетевые модели в управлении», 2010.
2. Е. Ю. Байбакова, В. В. Ключков. Экономические аспекты фрагментации технологических цепочек в наукоемкой промышленности//Вестник Уральского государственного технического университета. Серия «Экономика и управление», № 6, 2010.
3. О. Г. Голиченко. Технологическая революция и фрагментация цепей создания добавленной стоимости//Материалы международной научно-практической конференции «Управление инновациями-2009». М.: ИПУ РАН, 2009.
4. М. Кастельс. Информационная эпоха: экономика, общество и культура/Пер. с англ.; под ред. О. И. Шкаратана. М.: ВШЭ, 2000.
5. В. В. Ключков. CALS-технологии в авиационной промышленности: организационно-экономические аспекты. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008.
6. В. В. Ключков. Управление инновационным развитием гражданского авиастроения. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009.
7. В. В. Ключков. Риски и ограничения развития нематериального сектора экономики//Сфера услуг: инновации и качество, № 1, 2011.
8. В. В. Ключков, Б. Е. Циклис. Минимизация затрат и управление развитием наукоемкой промышленности (на примере авиастроения)//Контролинг, № 1, 2011.
9. А. Ю. Кнобель. Вертикальная интеграция, технологическая связанность производств, оппортунистическое поведение и экономический рост//Экономика и математические методы, т. 46, вып. 1, 2010.
10. Н. Н. Тренев. Предприятие и его структура: анализ, диагностика, оздоровление. М.: Приор, 2002.
11. О. А. Третьяк, М. А. Румянцев. Сетевые формы межфирменной кооперации: подходы к объяснению феномена//Российский журнал менеджмента, т. 1, № 2, 2003.
12. Aircraft Manufacturing/in: Economic Census. Manufacturing. Industry series. U.S. Census Bureau, 1999, 2004, 2009.
13. T. J. Allen, O. Hauptman. The Influence of Communication Technologies on Organization Structure//Commun. Res., vol. 14, No. 4, Oct. 1987.
14. S. A. Dzuba. Effectiveness of management systems: informational approach//Менеджмент в России и за рубежом, № 2, 2011.
15. H. Herring. «Rebound effect»//in: Encyclopedia of Earth. Eds. Cutler J. Cleveland. Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, 2008. http://www.eoearth.org/article/Rebound_effect.
16. A. Majchrzak, T. Chang, W. Barfield, R. Eberts, G. Salvendy. Human Aspects of Computer-Aided Design. Philadelphia, PA: Taylor and Francis, 1987.
17. O. E. Williamson. Technology and transaction cost economics//Journal of economic behavior and organization, vol. 10, 1988.

Interconnection between innovational development of technologies and industry's organizational structures (on example of aircraft manufacturing)

E. Yu. Baybakova, postgraduate student, Institute of Control Sciences named after V.A. Trapeznikov of RAS.

V. V. Klochkov, Doctor of Economics, Leading researcher, Institute of Control Sciences named after V. A. Trapeznikov of RAS.

The influence of information technologies on innovations concerning organizational structures (particularly, network and virtual enterprises forming) is investigated. The optimal organizational structure's change during innovational development of technologies is also considered.

Keywords: network structures, transaction cost, information technologies, organizational and technological innovations, cognitive barrier.