

УДК 338.45:621  
ББК 65.29

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР В РОССИЙСКОЙ НАУКОЕМКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Байбакова Е. Ю.<sup>1</sup>**

*(Московский физико-технический институт, Москва)*

**Клочков В. В.<sup>2</sup>**

*(Учреждение Российской академии наук  
Институт проблем управления РАН, Москва)*

*Предлагается система экономико-математических моделей для анализа экономической эффективности и рисков формирования сетевых организационных структур и виртуальных предприятий в наукоемкой промышленности.*

Ключевые слова: сетевые организационные структуры, наукоемкие производства, виртуальные предприятия.

### **1. Формирование сетевых организационных структур в промышленности: предпосылки и ограничения**

В большинстве отраслей российского наукоемкого машиностроения до недавнего времени преобладали вертикально интегрированные организационные структуры предприятий: на одном предприятии производились все основные компоненты финальных изделий, см. рис. 1.

Однако в настоящее время назрела необходимость коренной производственной реструктуризации отечественной наукоемкой промышленности. В рыночных условиях может быть невыгодным осуществлять на каждом предприятии полный

---

<sup>1</sup> Елена Юрьевна Байбакова, студент ([elenabaibakova@mail.ru](mailto:elenabaibakova@mail.ru)).

<sup>2</sup> Владислав Валерьевич Клочков, доктор экономических наук (Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, [vlad\\_klochkov@mail.ru](mailto:vlad_klochkov@mail.ru)).

цикл разработки и производства изделий. «Натуральное хозяйство» приводит к неоправданному дублированию постоянных затрат (как на НИОКР, так и на освоение серийного производства), повышению себестоимости продукции и распылению ограниченных бюджетных средств, выделяемых на поддержку наукоемких отраслей.

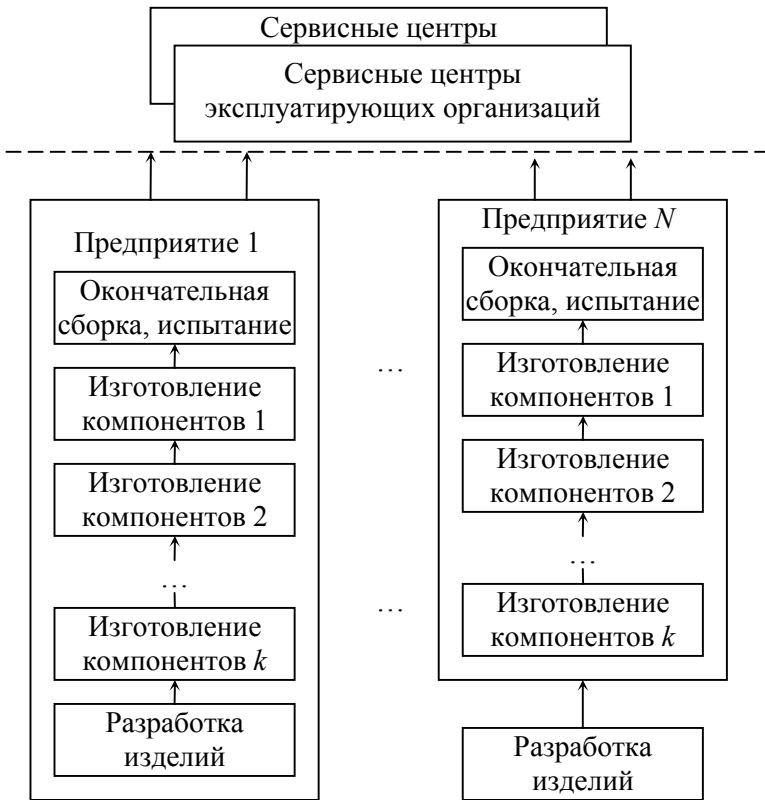


Рис. 1. Отрасль с вертикально интегрированными предприятиями

Особенно остро ощущается неэффективность описанной выше организационной структуры в период масштабного технологического перевооружения российской наукоемкой и высокотех-

нологической промышленности. Масштабы выпуска изолированных предприятий не обеспечивают экономически эффективной загрузки дорогостоящего оборудования, высококвалифицированной рабочей силы. На сегодняшний день все большую поддержку в наукоемкой промышленности и в органах государственного управления получает концепция эволюционного перехода к сетевым организационным структурам, см. рис. 2.

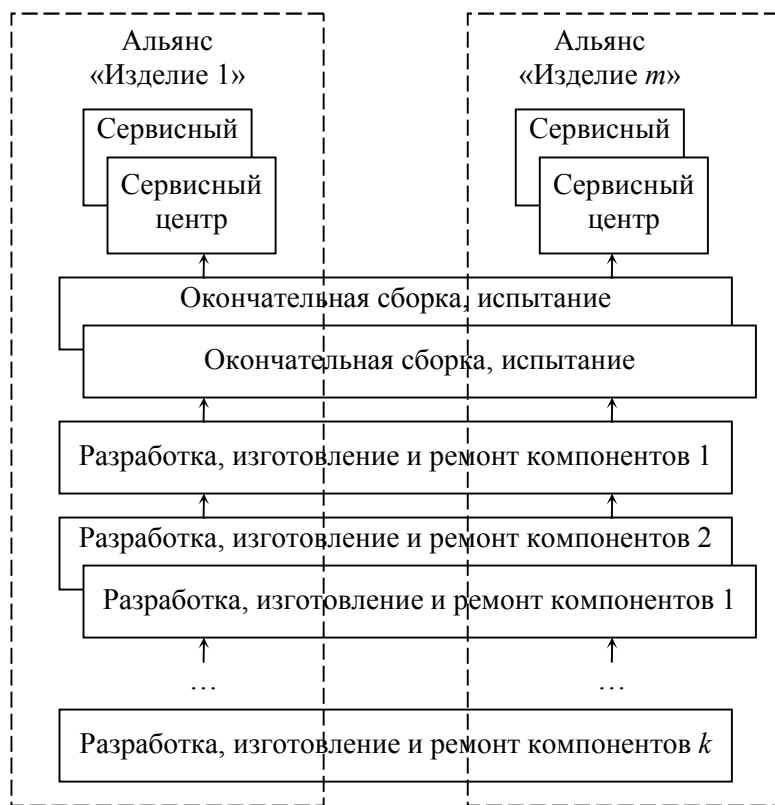


Рис. 2. Сетевая структура отрасли

Существующие предприятия при освоении новых типов изделий отказываются от полного цикла производства и специали-

зируются на выпуске отдельных комплектующих, выполнении отдельных высокотехнологичных работ либо на финальной сборке изделий, становясь так называемыми *центрами технологической компетенции*. Полный цикл разработки и производства предлагается реализовать в форме «мягких» альянсов. В рамках альянса реализуются общее управление проектом, маркетинг, системная интеграция компонент, послепродажное обслуживание, а комплектующие изделия, услуги и работы производственного назначения закупаются на основе субподряда. Важно подчеркнуть, что специализация предприятий и их объединение в альянсы «вокруг» перспективных изделий происходит добровольно, на основе осознания ими общих экономических интересов.

Сетевая структура позволяет воспользоваться преимуществами увеличения масштабов производства, исключить излишнее дублирование затрат на технологическое перевооружение предприятий. В то же время она не исключает конкуренции, как между специализированными предприятиями-производителями компонент, так и между альянсами (системными интеграторами). Каждый производитель финальных изделий может закупать комплектующие изделия у нескольких конкурирующих производителей (в том числе и за рубежом), что позволяет ему снизить закупочную цену и разнообразные риски (снижения качества, срыва поставок, и т. п.). С другой стороны, на каждом специализированном предприятии организуется производство определенных комплектующих изделий для нескольких типов финальных изделий, в том числе конкурирующих между собой. Это позволяет диверсифицировать производство, существенно увеличить его масштабы и снизить риск спада спроса.

Формирование описанной сетевой структуры уже успешно реализуется в большинстве отраслей зарубежной наукоемкой промышленности, см., например, [6, 8]. Такая концепция производственной реструктуризации заложена в стратегии развития ведущих отраслей российской наукоемкой и высокотехнологичной промышленности – например, в авиастроении [2]. Возникает вопрос: почему, несмотря на описанные выше преимущества, нынешняя организационная структура российской наукоемкой

промышленности далека от описанной выше сетевой структуры? Необходимо учитывать, что при переходе к сетевой структуре, выделении независимых поставщиков комплектующих изделий, для головного предприятия (системного интегратора) возникает целый ряд контрактных рисков. В их числе – риск изменения отпускных цен поставщиков, уровня дефектности их продукции, транспортных издержек, таможенных барьеров и т. д. В неблагоприятной институциональной среде проявляется оппортунизм поставщиков, который приводит к так называемой «проблеме смежников». Минимизировать контрактные риски и повысить адаптивность предприятий в динамичном рыночном окружении помогают, как обосновано в работах [3, 10], некоторые новые технологические решения, в частности:

- безбумажные технологии информационного обмена данными об изделиях, их конструкции, процессах производства и эксплуатации, и т. п., называемые *CALS-технологиями* (*Continuous Acquisition & Lifecycle Support*, непрерывная поддержка жизненного цикла, см., например, [3]);

- системы *CRM* (*Customer Relationship Management*, управление взаимоотношениями с клиентами);

- гибкое производственное оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ).

Эти решения позволяют радикально снизить транзакционные затраты, потери времени и средств, сопряженные со сменой контрагента. Таким образом, состав предприятий – участников вышеописанных альянсов может при необходимости гибко изменяться. Такое объединение с переменным составом участников называется *виртуальным предприятием* [3, 4]. Члены виртуального объединения связаны лишь общими экономическими интересами, а также единой информационной средой, содержащей в цифровой форме данные об изделии. Специализированные предприятия – поставщики комплектующих изделий и производственных услуг в этом случае называются *агентами* виртуального предприятия. Состав агентов может изменяться, например, для снижения цен поставляемых ими комплектующих изделий и производственных услуг, для минимизации контрактных рисков. Однако смена агентов сопряжена

с дополнительными издержками и потерями, поэтому не всегда будет целесообразной.

В каких условиях (технологических, институциональных и т. д.) будут наиболее эффективными те или иные организационные структуры (традиционные, с вертикально интегрированными предприятиями полного цикла, или сетевые, состоящие из специализированных производств; с жестким закреплением кооперационных связей или с образованием виртуальных предприятий)? Для ответа на этот вопрос в данной работе предполагается построить систему упрощенных экономико-математических моделей.

Общеизвестен вклад в объяснение эволюции организационных структур предприятий и отраслей нобелевского лауреата 2009 г. О. Уильямсона [11], который показал, что высокий уровень транзакционных издержек и потерь вследствие оппортунистического повеления партнеров способствует большей тесноте вертикальной интеграции, и наоборот. В работах [3, 10] отмечена роль информационных технологий в снижении транзакционных затрат и повышении гибкости организационных структур. В отличие от работ [5, 7, 11], в которых также ставится вопрос об условиях преимущественного применения вертикальной интеграции и от других работ [1, 6, 8], также посвященных формированию сетевых структур, в данной работе особое внимание уделяется специфике наукоемких и высокотехнологичных отраслей промышленности.

## ***2. Модели себестоимости разработки и производства наукоемкой продукции***

Одной из важнейших экономических характеристик предприятий и отраслей является себестоимость производства. В данной работе эффективность тех или иных организационных структур будет сравниваться именно по критерию суммарной себестоимости производства в отрасли при заданном объеме выпуска отраслевой продукции. При этом, наряду с собственно затратами, будут учитываться ожидаемые потери, связанные с разнообразными рисками функционирования предприятий.

## 2.1. ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННАЯ СТРУКТУРА

Рассмотрим предприятие, на котором реализуется полный цикл разработки и производства нескольких типов наукоемких изделий. Предположим для простоты рассуждений, что все типы выпускаемых изделий состоят из одинакового набора основных компонент. Себестоимость выпуска определенного типа изделий в объеме  $Q$  единиц за весь ЖЦИ можно представить в виде суммы постоянных (т. е. не зависящих от выпуска) и переменных затрат:

$$(1) \quad TC(Q) = FC + VC(Q),$$

где  $FC$ ,  $VC$  – соответственно постоянные и переменные затраты. Постоянные затраты предлагается разделить на *специфические* для данного типа изделия и *общие* для данной компоненты изделия всех типов:

$$(2) \quad FC = FC^{\text{спец}} + FC^{\text{общ}}.$$

К общим постоянным затратам можно отнести:

- затраты на фундаментальные и поисковые исследования, направленные на совершенствование данного вида компонентов изделия;

- затраты на разработку технологий и приобретение специализированного оборудования для производства данного вида компонентов;

- затраты на подготовку высококвалифицированных специалистов, способных выпускать компоненты данного вида.

К специфическим постоянным затратам относятся затраты на разработку программного обеспечения и настройку автоматизированных технологических линий и установок, и т. д.

Введем следующие обозначения:

$FC^{\text{тип}}$  - постоянные затраты на изолированное производство определенного типа изделия;

$\gamma$  - доля постоянных затрат, которая является общей для различных типов изделий.

Тогда общие и специфические постоянные затраты могут быть представлены следующим образом:

$$(3) \quad FC^{\text{общ}} = \gamma \cdot FC^{\text{тип}}$$

$$(4) \quad FC^{\text{спец}} = (1 - \gamma) \cdot FC^{\text{тип}}.$$

Предположим, что в отрасли изначально работало  $N$  наукоемких предприятий с полным циклом производства. Обозначим  $m$  – среднее число типов финальных изделий, выпускавшихся на каждом предприятии, т. е., модельный ряд в отрасли насчитывал  $N \times m$  наименований. Тогда постоянные затраты в отрасли составляют следующую величину:

$$(5) \quad FC = N \cdot FC^{\text{общ}} + N \cdot m \cdot FC^{\text{снп}} = \\ = N \cdot \gamma \cdot FC^{\text{тип}} + N \cdot m \cdot (1 - \gamma) \cdot FC^{\text{тип}} = \\ = \{\gamma + (1 - \gamma) \cdot m\} \cdot N \cdot FC^{\text{тип}}.$$

Переменные затраты прежде всего включают в себя материальные затраты и затраты на оплату труда. В высокотехнологичных отраслях удельные переменные затраты существенно сокращаются с ростом накопленного выпуска, поскольку с каждым выпущенным экземпляром изделия накапливается опыт его производства. Этот эффект называется *эффектом обучения*. В первую очередь, эффект обучения позволяет сократить удельные трудовые затраты. Для удельных материальных затрат эффект обучения гораздо слабее. Кривую обучения для удельных трудовых затрат можно представить в простейшем случае следующим образом (см., например, [9]):

$$(6) \quad c_{\text{тр}}(q) = c_{\text{тр}}^1 (1 - \lambda)^{\log_2 q},$$

где  $c_{\text{тр}}^1$  - удельные трудовые затраты на выпуск первого экземпляра изделия,  $q$  - накопленный к данному моменту выпуск изделий данного типа,  $c_{\text{тр}}(q)$  – удельные трудовые затраты на выпуск очередного  $q$ -го изделия, а  $\lambda$  – так называемый *темп обучения*. Такая форма кривой обучения означает, что при каждом удвоении накопленного выпуска удельные трудовые затраты на очередной экземпляр изделия сокращаются на  $\lambda \times 100\%$ . Например, в самолетостроении, где велика доля сложного ручного труда, темп обучения достигает 15-20%.

Тогда трудовые затраты на выпуск финальных изделий определенного типа на одном предприятии за весь ЖЦИ при полном цикле производства выражаются следующим образом:

$$(7) \quad C_{\text{тр}}(Q) = c_{\text{тр}}^1 \cdot \sum_{q=1}^Q (1 - \lambda)^{\log_2 q} = c_{\text{тр}}^1 \cdot \sum_{q=1}^Q q^{\log_2(1-\lambda)} \approx$$



$$\approx c_{\text{тр}}^1 \cdot \int_0^Q q^{\log_2(1-\lambda)} \approx c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{Q^{1+\log_2(1-\lambda)}}{1+\log_2(1-\lambda)}.$$

Материальные затраты будем рассчитывать по упрощенной линейной формуле:

$$(8) \quad C_{\text{мат}}(Q) = c_{\text{мат}} \cdot Q,$$

где  $c_{\text{мат}}$  – удельные матзатраты на выпуск одного изделия определенного типа;  $Q$  – совокупный выпуск изделия данного типа за весь ЖЦИ.

Таким образом, суммарные затраты в отрасли на выпуск финальных изделий всех типов при полном цикле производства на каждом предприятии выражаются следующей суммой:

$$(9) \quad TC = FC + VC = \\ = N \cdot FC^{\text{общ}} + N \cdot m \cdot FC^{\text{спец}} + N \cdot m \cdot C_{\text{тр}} + N \cdot m \cdot C_{\text{мат}} = \\ = \{\gamma + (1-\gamma) \cdot m\} \cdot N \cdot FC^{\text{тип}} + N \cdot m \cdot c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{Q^{1+\log_2(1-\lambda)}}{1+\log_2(1-\lambda)} + \\ + N \cdot m \cdot c_{\text{мат}} \cdot Q.$$

## 2.2. СЕТЕВАЯ СТРУКТУРА ПРИ ЖЕСТКОМ ЗАКРЕПЛЕНИИ КООПЕРАЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ

Теперь оценим себестоимость производства при переходе к сетевой структуре отрасли. Предположим, что по окончании реструктуризации в отрасли остается в среднем по  $N'$  конкурирующих предприятий, специализирующихся на производстве каждого вида компонент. Благодаря наличию множества возможных направлений специализации, число конкурирующих производителей каждого вида комплектующих можно подобрать таким образом, что ни одно из существующих предприятий не закроется, во избежание социальных проблем и потери потенциала отрасли. Пусть по окончании реструктуризации в отрасли выпускается  $m'$  типов финальных изделий в рамках соответствующих альянсов. Тогда суммарные постоянные затраты в отрасли составят следующую величину:

$$(10) \quad FC = N' \cdot FC^{\text{общ}} + m' \cdot FC^{\text{спец}} = \\ = N' \cdot \gamma \cdot FC^{\text{тип}} + m' \cdot (1-\gamma) \cdot FC^{\text{тип}} =$$

$$= \{N' \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot m'\} \cdot FC^{\text{тип}}.$$

Здесь предполагается, что каждый агент выпускает комплектующие только к определенным типам финальных изделий, на которые он получит заказ, поэтому специфические постоянные затраты повторяются в отрасли лишь  $m'$  раз.

Важно отметить, что суммарный выпуск финальных изделий во всей отрасли считается неизменным, что и позволяет проводить сравнение себестоимости до и после перехода к сетевой структуре. Поскольку после реструктуризации модельный ряд в отрасли изменился с  $N \times m$  до  $m'$  типов финальных изделий, каждое из них теперь выпускается, в среднем, в объеме  $Q'$  за весь ЖЦИ:

$$(11) \quad Q' = Q \cdot (N \cdot m) / m'.$$

Если бы по окончании реструктуризации гарантированно обеспечивалась стабильность системы поставок, можно было бы оценивать сумму материальных затрат по формуле, аналогичной формуле (8). Однако, как было подробно обосновано во введении, выделение независимых поставщиков порождает опасность их оппортунистического поведения. И даже в том случае, если они привержены принципам деловой этики, затраты системного интегратора на закупку их продукции могут изменяться по независимым от них причинам (таможенные барьеры, изменчивость транспортных издержек и т. п.). Именно последней группой факторов мы ограничимся для упрощения модели, поскольку описание преднамеренного оппортунизма требует привлечения более сложного (теоретико-игрового) аппарата. Изменчивость отпускных цен поставщиков, возникающую при переходе к сетевой структуре отрасли, будем считать вероятностной и опишем следующим образом. Допустим, что на долю времени  $\alpha$  удельные матзатраты случайным образом возрастают относительно обычного уровня  $c_{\text{мат}}$  на долю  $\beta$ . Тогда  $\alpha$  – вероятность высоких матзатрат,  $(1 - \alpha)$  – вероятность низких матзатрат. Заказчик комплектующих изделий может придерживаться двух стратегий: *пассивной*, т. е. работать с одним агентом на протяжении всего ЖЦИ, или *активной*, меняя агентов при повышении матзатрат и отпускных цен. В данном разделе рассмотрим

затраты при пассивной стратегии, т. е. при жестком закреплении контрактных отношений системных интеграторов с поставщиками. В этом случае среднее значение удельных матзатрат выражается следующим образом:

$$(12) \bar{c}_{\text{мат}_{\text{пасс}}} = (1 - \alpha) \cdot c_{\text{мат}} + \alpha \cdot (1 + \beta) \cdot c_{\text{мат}} = \\ = c_{\text{мат}} \cdot (1 - \alpha + \alpha + \alpha \cdot \beta) = c_{\text{мат}} \cdot (1 + \alpha \cdot \beta).$$

Тогда материальные затраты на производство одного типа финальных изделий за весь ЖЦИ описываются следующей формулой:

$$(13) C_{\text{мат}_{\text{пасс}}}^{\text{тип}}(Q') = \bar{c}_{\text{мат}_{\text{пасс}}} \cdot Q',$$

где  $Q'$  - выпуск финальных изделий данного типа за весь ЖЦИ (и, соответственно, машинокомплектов всех видов комплектующих изделий для данного типа финальных изделий).

Следовательно материальные затраты в отрасли за весь ЖЦИ данного поколения изделий составят следующую величину:

$$(14) C_{\text{мат}_{\text{пасс}}} = C_{\text{мат}_{\text{пасс}}}^{\text{тип}}(Q') \cdot m' = \bar{c}_{\text{мат}_{\text{пасс}}} \cdot [Q \cdot (N \cdot m / m')] \cdot m' = \\ = c_{\text{мат}} \cdot (1 + \alpha \cdot \beta) \cdot Q \cdot (N \cdot m)$$

В данной модели также учитывается, что удельные трудовые затраты сокращаются с ростом накопленного выпуска благодаря эффекту обучения, но после реструктуризации суммарный выпуск каждого вида финальных изделий (и, следовательно, машинокомплектов для них) составит в среднем  $Q'$ . Трудовые затраты на производство одного типа финальных изделий за весь ЖЦИ примут следующее значение:

$$(15) C_{\text{тр}}^{\text{тип}}(Q') = c_{\text{тр}}^1 \cdot \sum_{q=1}^{Q'} (1 - \lambda)^{\log_2 q} \approx c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{Q'^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{1 + \log_2(1 - \lambda)} = \\ = c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m / m')^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{1 + \log_2(1 - \lambda)}.$$

Тогда трудовые затраты в отрасли за весь ЖЦИ данного поколения изделий можно представить в следующем виде:

$$(16) C_{\text{тр}_{\text{пасс}}} = C_{\text{тр}}^{\text{тип}}(Q') \cdot m' = c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{m' \cdot (Q \cdot N \cdot m / m')^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{1 + \log_2(1 - \lambda)} =$$

$$= c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{(1+\log_2(1-\lambda)) \cdot m^{\log_2(1-\lambda)}} \cdot$$

Суммарные затраты в отрасли за весь ЖЦ данного поколения изделий представляют собой следующую сумму:

$$(17) \quad TC = FC + VC = FC + C_{\text{мат}} + C_{\text{тр}} = \\
 = \{N' \cdot \gamma + (1-\gamma) \cdot m'\} \cdot FC^{\text{тип}} + c_{\text{мат}} \cdot (1+\alpha\beta) \cdot Q \cdot (N \cdot m) + \\
 + c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{(1+\log_2(1-\lambda)) \cdot m^{\log_2(1-\lambda)}} \cdot$$

### 2.3. СЕТЕВАЯ СТРУКТУРА ПРИ ГИБКОЙ СМЕНЕ АГЕНТОВ (ФОРМИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ОБЪЕДИНЕНИЙ)

В данном разделе уже будем считать, что системный интегратор придерживается *активной* стратегии, т. е. оперативно меняет поставщиков комплектующих изделий при каждом повышении отпускных цен. Такое объединение с переменным составом агентов и представляет собой виртуальное производственное предприятие. Для описания процесса функционирования виртуального предприятия введем величину  $x$  – ожидаемое число смен агентов за весь ЖЦИ. Оно может быть оценено по следующей формуле:

$$(18) \quad x = T \cdot (1 - \alpha^{N'-1}) / T_{\text{низк}},$$

где  $T$  - длительность ЖЦИ;  $T_{\text{низк}}$  - средняя длительность периода, на протяжении которого матзатраты принимают низкое значение. Формула (18) получена на основе предложенной в работе [3] модели, в которой совокупность  $N'$  независимых поставщиков данного вида компонент рассматривается как замкнутая система массового обслуживания, а каждый поставщик (канал обслуживания) может пребывать с вероятностями  $\alpha$  и  $(1 - \alpha)$  в двух состояниях: с высокими и с низкими удельными матзатратами.

Постоянные затраты в отрасли возрастут по сравнению с пассивной стратегией, поскольку при каждой смене агента новому поставщику придется осваивать производство комплектующих изделий для финальных изделий данного типа, и за

ЖЦИ специфические постоянные затраты повторятся для всех видов компонент в среднем  $x$  раз:

$$(19) FC = N' \cdot FC^{\text{общ}} + x \cdot m' \cdot FC^{\text{спец}} = \\ = N' \cdot \gamma \cdot FC^{\text{тип}} + x \cdot m' \cdot (1 - \gamma) \cdot FC^{\text{тип}} = \\ = \{N' \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot m' \cdot k\} \cdot FC^{\text{тип}}.$$

При активной стратегии системный интегратор в любой момент времени выбирает наимыгоднейшего поставщика комплектующих изделий данного вида. Поэтому удельные матзатраты высоки лишь в те периоды, когда у всех потенциальных поставщиков отпускные цены высоки, т. е. на долю времени  $\alpha^{N'}$ , где  $N'$  - число предприятий-агентов, потенциально способных выпускать необходимые комплектующие изделия. Ожидаемые удельные матзатраты при активной стратегии описываются следующим выражением:

$$(20) \bar{c}_{\text{мат}_{\text{акт}}} = (1 - \alpha^{N'}) \cdot c_{\text{мат}} + \alpha^{N'} \cdot (1 + \beta) \cdot c_{\text{мат}} = \\ = c_{\text{мат}} \cdot (1 + \alpha^{N'} \cdot \beta).$$

Тогда выражение для материальных затрат при активной стратегии для одного типа изделия за весь ЖЦИ для одного альянса принимает следующий вид:

$$(21) C_{\text{мат}_{\text{акт}}}^{\text{тип}} = \bar{c}_{\text{мат}_{\text{акт}}} \cdot (Q' / x) \cdot x = \bar{c}_{\text{мат}_{\text{акт}}} \cdot Q'.$$

Следовательно, материальные затраты в отрасли при гибкой смене агентов виртуальных объединений за весь ЖЦИ составят следующую величину:

$$(22) C_{\text{мат}_{\text{акт}}} = \bar{c}_{\text{мат}_{\text{акт}}} \cdot [Q \cdot (N \cdot m / m')] \cdot m' = \\ = c_{\text{мат}} \cdot (1 + \alpha^{N'} \beta) \cdot Q \cdot (N \cdot m)$$

При смене агента системный интегратор несет транзакционные затраты на поиск нового агента и заключение контракта  $c_{\text{поиск}}$ . Обозначим время смены агента  $\tau_{\text{см}}$ , и предположим, что в течение этого периода заказчик продолжает покупать комплектующие у прежнего агента по завышенной цене. Тогда суммарные затраты и потери системного интегратора при каждой смене агента выражаются следующей формулой:

$$(23) c_{\text{смена}} = c_{\text{поиск}} + \tau_{\text{см}} \cdot j \cdot c_{\text{мат}} \cdot \beta,$$

где

$$(24) j = \frac{Q'}{T}$$

- объем закупок компонент к финальным изделиям данного типа в единицу времени, в машинокомплектах. Здесь мы рассматриваем величины  $c_{\text{смена}}$ ,  $c_{\text{поиск}}$  как удельные затраты на одну смену агента.

При оценке трудовых затрат мы также учитываем эффект обучения и изменение выпуска изделий одного типа до  $Q'$  за весь ЖЦИ. Трудовые затраты виртуального предприятия за весь ЖЦ соответствующего финального изделия можно выразить следующим образом:

$$\begin{aligned} (25) C_{\text{тр}}^{\text{тип}}(Q') &= x \cdot C_{\text{тр}}(Q'/x) = x \cdot c_{\text{тр}}^1 \cdot \sum_{q=1}^{Q'/x} (1-\lambda)^{\log_2 q} \approx \\ &\approx c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{x \cdot (Q'/x)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{1+\log_2(1-\lambda)} = c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{x \cdot \left(\frac{Q \cdot N \cdot m / m'}{x}\right)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{1+\log_2(1-\lambda)} = \\ &= c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m / m')^{1+\log_2(1-\lambda)}}{(1+\log_2(1-\lambda)) \cdot x^{\log_2(1-\lambda)}}. \end{aligned}$$

Тогда трудовые затраты в отрасли будут описываться формулой

$$\begin{aligned} (26) C_{\text{тр.акт}} &= C_{\text{тр}}(Q'/x) \cdot x \cdot m' = \\ &= c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{x \cdot m' \cdot \left(\frac{Q \cdot N \cdot m / m'}{x}\right)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{1+\log_2(1-\lambda)} = \\ &= c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{(1+\log_2(1-\lambda)) \cdot (x \cdot m')^{\log_2(1-\lambda)}}. \end{aligned}$$

Суммарные затраты в отрасли с сетевой организационной структурой и виртуальными предприятиями будут определяться выражением (27).

$$\begin{aligned} (27) TC &= FC + VC = FC + C_{\text{мат.акт}} + x \cdot m' \cdot c_{\text{смена}} + C_{\text{тр.акт}} = \\ &= \{N' \cdot \gamma + (1-\gamma) \cdot x \cdot m'\} \cdot FC^{\text{тип}} + c_{\text{мат}} \cdot (1 + \alpha^{N'} \beta) \cdot Q \cdot (N \cdot m) + \end{aligned}$$

$$+x \cdot m' \cdot (c_{\text{поиск}} + \tau_{\text{см}} \cdot j \cdot c_{\text{мат}} \cdot \beta) + \\ + c_{\text{тр}}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{(1+\log_2(1-\lambda)) \cdot (x \cdot m')^{\log_2(1-\lambda)}}.$$

### **3. Параметрический анализ эффективности формирования сетевых структур и виртуальных предприятий**

Сравнительный анализ экономической эффективности различных организационных структур можно провести как в общем виде, сопоставляя итоговые формулы (9), (17) и (27), так и на основе параметрических расчетов, в которых параметры соответствующих моделей изменяются в широких пределах, и появляется возможность выявить условия, в которых будет предпочтительна та или иная организационная структура отрасли.

В качестве сквозного примера используем следующий реалистичный набор исходных данных, по порядку величины соответствующих гражданскому авиастроению и некоторым другим отраслям наукоемкого машиностроения РФ. Предположим, что в отрасли изначально работало  $N = 10$  предприятий полного цикла, каждое из которых выпускало в среднем  $m = 2$  типа финальных изделий, каждое в объеме в среднем  $Q = 100$  единиц за весь ЖЦИ. При переходе к сетевой организационной структуре на каждом виде комплектующих изделий или производственных услуг специализируется в среднем  $N' = 3$  конкурирующих предприятия, а модельный ряд в отрасли сокращается до  $m' = 4$  типов финальных изделий. Соответственно, серийность выпуска изделий каждого типа возрастет до  $Q' = 500$  единиц за весь ЖЦИ. Суммарные постоянные затраты на разработку и освоение производства одного изолированного типа изделий при полном цикле производства  $FC^{\text{мин}} = 2$  млрд долл., причем доля общих постоянных затрат  $\gamma = 80\%$ . Удельные трудозатраты на выпуск первого экземпляра изделия  $c_{\text{тр}}^1 = 15$  млн долл., темп обучения  $\lambda = 10\%$ . Удельные матери-

альные затраты на 1 изделие  $c_{\text{мат}} = 20$  млн долл./ед. Длительность ЖЦ данного поколения изделий  $T = 20$  лет.

### 3.1. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА ОТ ПОЛНОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА К СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЕ

Прежде всего, сопоставим формулы для постоянных затрат (5) и (10). Их сравнение показывает, что переход от вертикально интегрированных предприятий с полным циклом производства к сетевой организационной структуре позволяет существенно снизить постоянные затраты – как в масштабах отрасли, так и в расчете на одно изделие (так называемые *средние постоянные издержки*). Этот фактор приобретает особую важность с учетом временной структуры затрат, поскольку подавляющая часть постоянных издержек относится к начальным, инвестиционным затратам, для осуществления которых необходимо изыскать источники финансирования. Кредиты на восстановление частично разрушенного потенциала отраслей, техническое перевооружение предприятий, разработку и освоение производства новых изделий можно получить лишь под весьма высокий процент, а поскольку их возврат начнется лишь по окончании предпроизводственных стадий ЖЦИ, суммы, подлежащие возврату, возрастут в несколько раз. Поэтому, как правило, финансирование подобных проектов требует бюджетных ассигнований. В рамках данной модели, сокращение потребных постоянных затрат может достигаться за счет двух факторов:

- специализация предприятий на выпуске компонент ( $N' < N$ );

- сокращение модельного ряда финальных изделий ( $m' < N \cdot m$ ).

Влияние первого фактора будет тем сильнее, чем выше коэффициент  $\gamma$ , определяющий степень технологической и конструктивной общности изделий. В силу универсальности дорогостоящего производственного оборудования и квалифицированного персонала, доля общих постоянных затрат во многих наукоемких и высокотехнологичных отраслях существенно выше 50% [2]. То есть гораздо большую роль играет специализация предприятий на выпуске компонент, а не сокра-



щение модельного ряда. В то же время и последнее, как правило, желательно и допустимо. Предприятия с полным циклом производства, стремясь диверсифицировать риск рыночного провала производимых финальных изделий, часто неоправданно расширяли свой модельный ряд (даже если объемы выпуска отдельных моделей при этом становились единичными). Так, в российском гражданском авиастроении на протяжении 1990-х – начала 2000-х гг. официально реализовалось несколько десятков проектов, в то время как общий выпуск магистральных и региональных самолетов на протяжении этого периода колебался от 5 до 17 изделий в год. В сетевой структуре появляется возможность устранить эту диспропорцию без увеличения риска портфеля проектов отдельного предприятия: вполне можно обеспечить выполнение условия  $m' > m$  при  $m' < N \cdot m$ . В то же время для обеспечения эффективности реструктуризации отрасли сокращение модельного ряда, строго говоря, необязательно – более того, он даже может расширяться ( $m' > N \cdot m$ ) в силу стремления производителей в ряде отраслей лучше удовлетворять индивидуализированный спрос. Даже в этом случае постоянные затраты в отрасли могут сократиться при выполнении следующего условия:

$$\{N' \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot m'\} \cdot FC^{\text{тип}} < \{\gamma + (1 - \gamma) \cdot m\} \cdot N \cdot FC^{\text{тип}},$$

т. е., если доля общих постоянных издержек будет не ниже определенного порогового уровня:

$$(28) \quad \gamma > \frac{m' - m \cdot N}{m' - m \cdot N + N - N'}.$$

Разумеется, последнее условие является весьма жестким, а чтобы оно имело смысл, должно выполняться неравенство  $N' < N$ , т. е. в результате реструктуризации отрасли должна произойти специализация предприятий на выпуске определенных компонент. Кроме того, при неизменном суммарном выпуске отрасли расширение модельного ряда неизбежно означает снижение серийности выпуска отдельных моделей, что может привести к повышению переменных издержек – прежде всего, на оплату труда, поскольку в меньшей степени проявится эффект обучения. С другой стороны, хотя в данной модели изде-

Для разных типов рассматриваются с точки зрения накопления опыта производства как совершенно различные, они все-таки обладают технологической общностью. Поэтому выпуск комплектующих изделий ко многим типам финальных изделий на одном специализированном предприятии приводит к накоплению общего опыта их производства, который в данной упрощенной модели не учитывается. Для его учета необходимо построить модель перекрестного эффекта обучения, когда выпуск компонент для одного типа финальных изделий позволяет снизить трудозатраты на выпуск компонент к другим типам финальных изделий.

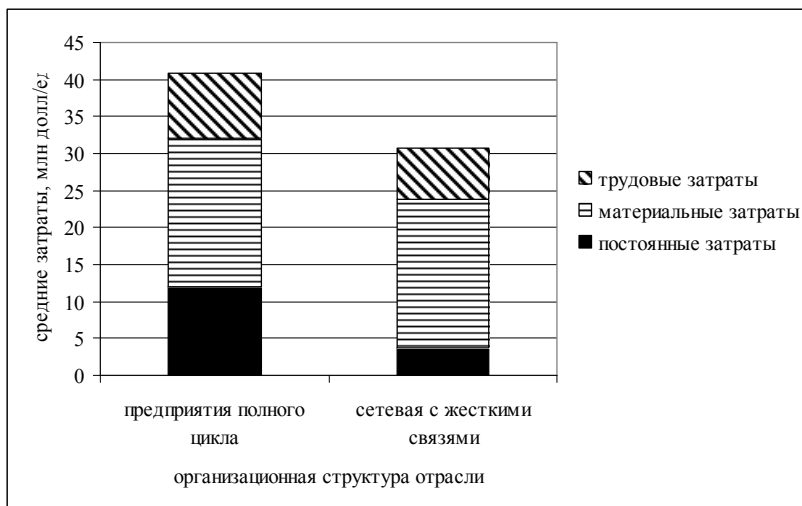


Рис. 3. Средняя себестоимость изделий при переходе от полного цикла производства к сетевой структуре (изменчивость отпускных цен поставщиков отсутствует)

На рис. 3 представлена структура средней себестоимости одного изделия при различных организационных структурах отрасли – вертикально интегрированных предприятиях полного цикла и сетевой структуре с жесткими связями между поставщиками и системными интеграторами. Расчеты произведены в рамках вышеприведенного числового примера.

Помимо сокращения постоянных затрат, специализация предприятий и переход к сетевой структуре отрасли повышает масштабы выпуска на отдельных предприятиях, что обеспечивает снижение средних трудовых затрат – за счет эффекта обучения (сопоставим формулы для затрат на оплату труда (7) и (16)). Итак, переход от полного цикла производства к сетевой организационной структуре, состоящей из специализированных предприятий, представляется однозначно выгодным – если не учитывать контрактные риски.

### ***3.2. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЦЕН И ЭФФЕКТА ОБУЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ***

При сильной изменчивости отпускных цен поставщиков комплектующих изделий и жестких связях между поставщиками и системными интеграторами, ожидаемые материальные затраты при переходе к сетевой структуре отрасли существенно возрастают, сравним формулы (8) и (14). Этот проигрыш может оказаться существеннее выигрыша в уровне постоянных затрат и сокращения затрат на оплату труда благодаря повышению серийности выпуска и эффекту обучения. На рис. 4 приведены структуры средней себестоимости изделий, полученные в рамках приведенного выше числового примера. Однако теперь, в отличие от рис. 3, учитывается, что независимые поставщики комплектующих изделий и производственных услуг могут периодически завывать отпускные цены. Пусть удельные материальные затраты могут случайным образом повышаться на  $\alpha = 100\%$  (т. е. вдвое) в течение  $\beta = 50\%$  календарного времени (реальная статистика роста цен комплектующих изделий в российском машиностроении показывает, что такие значения вполне вероятны). Средняя продолжительность периода низких отпускных цен  $T_{\text{низк}} = 5$  лет.

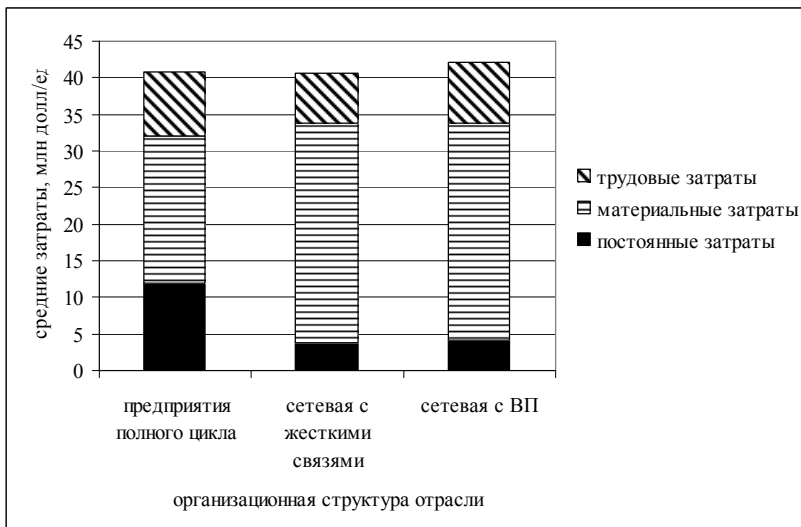


Рис. 4. Средняя себестоимость изделий при переходе от полного цикла производства к сетевой структуре (учитывается изменчивость отпускных цен поставщиков)

То есть, несмотря на вышеописанные преимущества сетевых структур, контрактные риски приводят к тому, что традиционная вертикально интегрированная структура предприятия с полным циклом производства оказывается выгоднее. При этом необходимо учитывать, что в упрощенной модели (12) изменчивость отпускных цен поставщиков считается случайной. Но в реальности независимые поставщики, зная о том, что смена поставщика является длительной и дорогостоящей для системного интегратора, сознательно могут вести себя оппортунистическим образом, завышая отпускные цены, снижая уровень качества поставляемой продукции, и т. п. «Проблема смежников» стала одной из самых острых проблем современного российского машиностроения. Она особенно усугубляется слабостью институтов, регулирующих контрактные отношения, в отечественной переходной экономике. Поэтому переход к «натуральному хозяйству», усилившийся в 1990-е гг. во многих отраслях российской промышленности, во многих случаях был

вынужденным и даже единственно возможным решением. Это яркий пример того, как институциональные проблемы блокируют переход к потенциально более эффективным организационным структурам и тем самым препятствуют снижению производственных, трансформационных затрат.

Обратим внимание на то, что на рис. 4 также приведены результаты расчета для сетевой структуры с гибкой сменой агентов, т. е. с образованием виртуальных предприятий. В данном примере считалось, что смена агента занимала в среднем  $\tau = 2$  года. Однако при этих параметрах гибкая смена агентов, как видно из рис. 4, неэффективна и лишь приводит к дополнительным затратам и потерям.

Как показано в работе [3], благодаря информационным технологиям и внедрению гибкого производственного оборудования с ЧПУ существенно сокращаются транзакционные издержки (на поиск нового поставщика и т. п.) и затраты на освоение производства необходимых комплектующих изделий на новом месте, что повышает гибкость кооперационных связей. Это позволяет системному интегратору минимизировать негативное влияние контрактных рисков, формируя виртуальное предприятие с переменным составом участников. На рис. 5, в отличие от рис. 4, считается, что благодаря описанным организационно-технологическим решениям удалось снизить длительность смены агента до  $\tau = 0,5$  года.

При достижении определенного порогового уровня гибкости кооперационных связей виртуальные предприятия даже в неблагоприятной институциональной среде достигают существенно меньшей себестоимости производства, чем предприятия с полным циклом производства. Можно утверждать, что именно возможность организации виртуальных предприятий открывает путь к формированию сетевых организационных структур в российской наукоёмкой промышленности. В ряде работ (см., например, [4]), наряду с меньшими ожидаемыми затратами и рисками, в числе преимуществ виртуальных предприятий учитываются также возможности увеличения выручки за счет гибкого удовлетворения изменчивого спроса, меньшего времени вывода нового продукта на рынок.

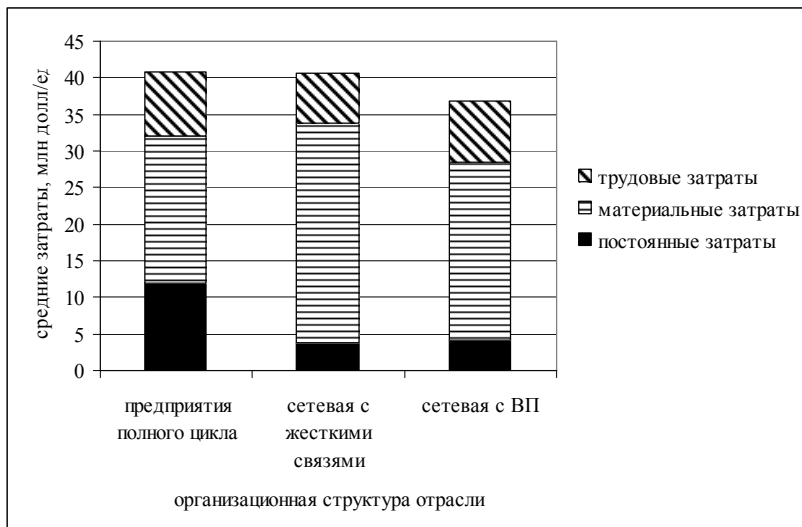


Рис. 5. Средняя себестоимость изделий при переходе от полного цикла производства к сетевой структуре с жесткими и гибкими связями

Однако в высокотехнологичных отраслях удельные затраты на оплату труда существенно сокращаются с ростом накопленного выпуска благодаря эффекту обучения. Как повлияет данный эффект на эффективность гибкой смены состава виртуального предприятия? Поскольку такую смену агентов приходится предпринимать в среднем  $x$  раз за ЖЦИ, общий выпуск машинокомплектов для каждого типа финальных изделий  $Q'$  делится на  $x$  частей. При каждой смене агента опыт, накопленный его предшественником, теряется, и процесс накопления опыта приходится начинать заново, что увеличивает суммарные затраты на оплату труда за весь ЖЦИ (сравним формулы (15) и (25)). Более того, каждая смена агента влечет за собой дополнительные затраты и потери  $c_{\text{смена}}$ , а также требует вновь нести затраты на освоение производства комплектующих изделий новым поставщиком. В упрощенной модели (19) считается, что при смене агента повторяются все специфические постоянные затраты. Однако в реальных расчетах необходимо учитывать, что

повторяется именно технологическая подготовка производства (ТПП), а НИОКР проводятся единственный раз за ЖЦИ и не повторяются при смене агента. Учет этого обстоятельства несколько повышает ожидаемую эффективность виртуальных предприятий. Однако, если велика доля затрат на оплату труда в структуре себестоимости, при повышении темпа обучения получают существенное преимущество перед прочими сетевые структуры с жесткими межфирменными связями, а формирование виртуальных объединений с гибким составом участников становится менее предпочтительным. Эффект обучения, весьма сильный во многих высокотехнологичных отраслях, усиливает связи поставщиков и заказчиков в сетевых структурах.

#### **4. Заключение**

На основании проведенного экономико-математического анализа, можно сделать следующие качественные выводы.

1. Переход от полного цикла производства к сетевым организационным структурам, состоящим из специализированных предприятий, позволяет существенно сократить себестоимость разработки и производства наукоемкой и высокотехнологичной продукции. Однако этот выигрыш может быть нивелирован высокими контрактными рисками, возникающими при выделении независимых поставщиков комплектующих изделий и производственных услуг.

2. Нейтрализовать негативный эффект контрактных рисков позволяют новые технологии, радикально повышающие гибкость кооперационных связей. Появляется возможность формировать виртуальные предприятия с переменным составом участников. В то же время характерный для многих высокотехнологичных отраслей эффект обучения может сокращать эффективность организации виртуальных объединений и способствовать более жесткой интеграции предприятий, в том числе в сетевых организационных структурах.

### Литература

1. АКИНФЕЕВА Е.В. *Сетевые структуры как способ экономической интеграции и оценка их свойств*. Автореф. дис. канд. экон. наук. – М., 2004. – 19 с.
2. КЛОЧКОВ В.В. *Оценка экономической эффективности интеграции авиационного двигателестроения* // Полет. – 2006. – №7. – С. 28-33.
3. КЛОЧКОВ В.В. *CALS-технологии в авиационной промышленности: организационно-экономические аспекты*. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 124 с.
4. КЛОЧКОВ В.В., САЗОНОВ Д.И. *Экономические проблемы организации виртуальных машиностроительных предприятий* // Технология машиностроения. – 2008. – №8. – С. 73–77.
5. КНОБЕЛЬ А.Ю. *Вертикальная интеграция, технологическая связанность производств, оппортунистическое поведение и экономический рост* // Экономика и математические методы. – 2010. – Т. 46, Вып. 1.
6. ПАТЮРЕЛЬ Р. *Создание сетевых организационных структур* // Проблемы теории и практики управления. – 1997. – №3.
7. ТРЕНЕВ Н.Н. *Предприятие и его структура: анализ, диагностика, оздоровление*. – М.: Приор, 2002. – 240 с.
8. ТРЕТЬЯК О.А., РУМЯНЦЕВА М.Н. *Сетевые формы межфирменной кооперации: подходы к объяснению феномена* // Российский журнал менеджмента. – 2003. – №1. – С. 77-102.
9. ALCHIAN, A. *Reliability of Progress Curves in Airframe Production* // Econometrica. – 1963. – Vol. 31, №4. – P. 679-694.
10. OVERBY E., BHARADWAJ A., SAMBAMURTHY V. *Enterprise agility and the enabling role of information technology* // European Journal of Information Systems. – 2006. – Vol. 15. – P. 120–131.
11. WILLIAMSON, O.E. *Technology and transaction cost economics* // Journal of economic behavior and organization. – 1988. – Vol. 10. – P. 355-363.



**ECONOMIC ASPECTS OF NETWORK ORGANIZATIONAL STRUCTURES FORMATION IN RUSSIAN SCIENCE-INTENSIVE INDUSTRY**

**Elena Baybakova**, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, student (elenabaibakova@mail.ru).

**Vladislav Klochkov**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science (Moscow, Profsoyuznaya st., 65, vlad\_klochkov@mail.ru).

*Abstract: The system of economic-mathematical models for economic efficiency and risks of network organizational structures and virtual enterprises formation in science-intensive industry is suggested.*

Keywords: network organizational structures, science-intensive industries, virtual enterprises.

*Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Р. М. Нижегородцевым*