

УДК 338.45:621
ББК 65.29

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР В РОССИЙСКОЙ НАУКОЕМКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Байбакова Е.Ю.¹

(Московский физико-технический институт, Москва)

Клочков В.В.²

*(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.

¹ Елена Юрьевна Байбакова, студент (elenabaiyakova@mail.ru).

² Владислав Валерьевич Клочков, доктор экономических наук, профессор, ул. Профсоюзная, д. 65, vlad_klochkov@mail.ru.



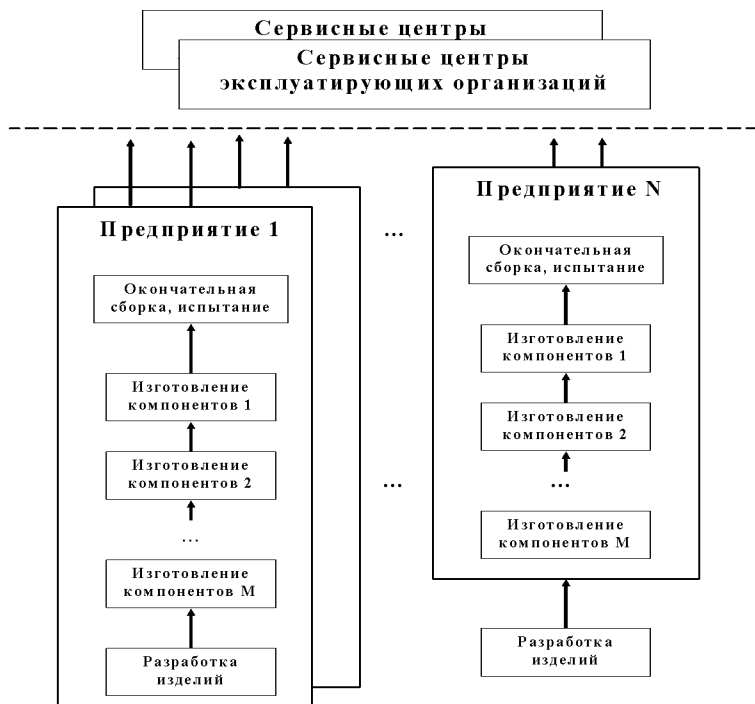


Рис. 1. Отрасль с вертикально интегрированными предприятиями

Однако в настоящее время назрела необходимость коренной производственной реструктуризации отечественной наукоемкой промышленности. В рыночных условиях может быть невыгодным осуществлять на каждом предприятии полный 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. Особенно остро ощущается неэффективность описанной выше организационной структуры в период масштабного технологического перевооружения российской наукоемкой и высокотехнологичной 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.

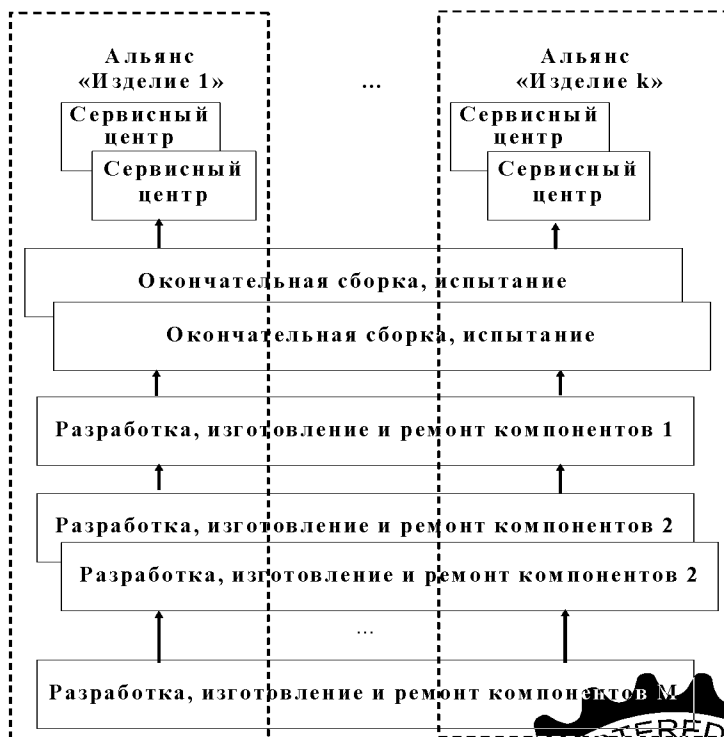


Рис. 2. Сетевая структура отрасли

Существующие предприятия при освоении новых типов изделий отказываются от полного цикла производства и специализируются на выпуске отдельных комплектующих, выполнении отдельных высокотехнологичных работ, либо на финальной сборке изделий, становясь т.н. центрами технологическими



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 т.ч., 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 т.ч., 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 т.н. «проблеме смежников». Минимизировать контрактные риски и повысить адаптивность предприятий в динамичном рыночном окружении помогают, как обосновано в работах [3, 9], 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. [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 или 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 организацион-



ные 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.

Общезвестен вклад в объяснение эволюции организационных структур предприятий и отраслей нобелевского лауреата 2009 г. О. Уильямсона [10], который показал, что высокий уровень транзакционных издержек и потерь вследствие оппортунистического поведения партнеров способствует большей тесноте вертикальной интеграции, и наоборот. В работах [3, 9] отмечена роль информационных технологий в снижении транзакционных затрат и повышении гибкости организационных структур. В отличие от работ [5, 7, 10], 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 собственными 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 - постоянные и переменные затраты. Постоянные затраты предлагается разделить на *специфические* для данного типа изделия и *общие* для данной компоненты изделия всех типов:

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

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 - постоянные затраты на изолированное производство определенного типа изделия;

γ - доля постоянных затрат, которая является общей для различных типов изделий.

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

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

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

Предположим, что в отрасли изначально работали n наукоемких предприятий с полным циклом производства. Обозначим



m - число типов финальных изделий, выпускавшихся на каждом предприятии, т.е., модельный ряд в отрасли насчитывал $N \cdot m$ наименований. Тогда постоянные затраты в отрасли составляют следующую величину:

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

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 трудозатрат можно представить в простейшем случае следующим образом:

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

где c_{mp}^1 - удельные трудозатраты на выпуск первого экземпляра изделия, q - накопленный к данному моменту выпуск изделий данного типа, $c_{mp}(q)$ - удельные трудозатраты на выпуск очередного q -го изделия, а λ - т.н. *темп обучения*. Такая форма кривой обучения означает, что при каждом удвоении накопленного выпуска удельные трудозатраты на очередной экземпляр изделия сокращаются на $\lambda \cdot 100\%$. 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 ЖЦП при полном цикле производства выражаются следующим образом:

$$(7) \quad C_{mp}(Q) = c_{mp}^1 \cdot \sum_{q=1}^Q (1 - \lambda)^{\log_2 q} = c_{mp}^1 \cdot \sum_{q=1}^Q (1 - \lambda)^{\log_2 (1 - \lambda)^{-q}} \\ \approx c_{mp}^1 \cdot \int_0^Q q^{\log_2 (1 - \lambda)} \approx c_{mp}^1 \cdot \frac{Q^{1 + \log_2 (1 - \lambda)}}{1 + \log_2 (1 - \lambda)}.$$



Материальные затраты будем рассчитывать по упрощенной линейной формуле:

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

где c_{mat} – 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:

$$\begin{aligned} (9) \quad TC &= FC + VC = \\ &= N \cdot FC^{\text{общ}} + N \cdot m \cdot FC^{\text{снец}} + N \cdot m \cdot C_{\text{mp}} + N \cdot m \cdot C_{\text{mat}} = \\ &= \{\gamma + (1 - \gamma) \cdot m\} \cdot N \cdot FC + N \cdot m \cdot c_{\text{mp}}^1 \cdot \frac{Q^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{1 + \log_2(1 - \lambda)} + \\ &+ N \cdot m \cdot c_{\text{mat}} \cdot Q. \end{aligned}$$

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 t конкурирующих предприятий, специализирующихся на производстве каждого вида компонент (их число можно подобрать таким образом, что ни одно из существующих предприятий не закроется, во избежание социальных проблем и потери потенциала отрасли). В отрасли выпускается k типов финальных изделий в рамках соответствующих альянсов. Тогда суммарные постоянные затраты в отрасли составят следующую величину:

$$\begin{aligned} (10) \quad FC &= t \cdot FC^{\text{общ}} + k \cdot FC^{\text{снец}} = \\ &= t \cdot \gamma \cdot FC + k \cdot (1 - \gamma) \cdot FC = \\ &= \{t \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot k\} \cdot FC \end{aligned}$$

(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 k 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 сократился до $k < N \cdot m$ типов финальных изделий, каждое из них теперь выпускается более массово – в объеме Q' за весь ЖЦИ:

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

Изменчивость отпускных цен поставщиков, возникающую при переходе к сетевой структуре отрасли, опишем следующим образом. Допустим, что на долю времени α удельные матзатраты случайным образом возрастают относительно обычного уровня c_{mat} на $\beta\%$. Тогда α – 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:

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

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

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

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:



$$(14) C_{mat_{насс}} = C_{mat}^{min}(Q') \cdot k = \bar{c}_{mat_{насс}} \cdot [Q \cdot (N \cdot m / k)] \cdot k = \\ = c_{mat} \cdot (1 + \alpha\beta) \cdot Q \cdot (N \cdot m)$$

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

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

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

$$(16) C_{mp_{насс}} = C_{mp}^{min}(Q') \cdot k = \\ = c_{mp}^1 \cdot \frac{k \cdot (Q \cdot N \cdot m / k)^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{1 + \log_2(1 - \lambda)} = c_{mp}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m)^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{(1 + \log_2(1 - \lambda)) \cdot k^{\log_2(1 - \lambda)}}.$$

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

$$(17) TC = FC + VC = FC + C_{mat_{насс}} + C_{mp_{насс}} = \\ = \{t \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot k\} \cdot FC + c_{mat} \cdot (1 + \alpha\beta) \cdot Q \cdot (N \cdot m) + \\ + c_{mp}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m)^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{(1 + \log_2(1 - \lambda)) \cdot k^{\log_2(1 - \lambda)}}.$$

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

В данном разделе уже будем считать, что системообразующий агрегатор придерживается активной стратегии, то есть оперативно меняет поставщиков комплектующих изделий при каждом повышении отпускных цен. Такое объединение является перемониторным.



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:

$$(18) \quad x = T \cdot (1 - \alpha^{t-1}) / T_{\text{низк}}$$

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 t независимых поставщиков данного вида компонент рассматривается как замкнутая система массового обслуживания, а каждый поставщик (канал обслуживания) может пребывать с вероятностями α и $(1-\alpha)$ в двух состояниях: с высокими и с низкими удельными матзатратами.

Постоянные затраты в отрасли возрастут, поскольку при каждой смене агента новому поставщику придется осваивать производство комплектующих изделий для финальных изделий данного типа, и за ЖЦИ специфические постоянные затраты повторятся, в среднем, x раз:

$$\begin{aligned} (19) \quad FC &= t \cdot FC^{\text{общ}} + x \cdot k \cdot FC^{\text{спец}} = \\ &= t \cdot \gamma \cdot FC + x \cdot k \cdot (1 - \gamma) \cdot FC = \\ &= \{t \cdot \gamma + (1 - \gamma) \cdot x \cdot k\} \cdot FC, \end{aligned}$$

При активной стратегии системный интегратор в любой момент времени выбирает наиболее выгодного 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 α^t , где t - число предприятий-агентов, потенциально способных выпускать необходимые комплектующие изделия. Ожидаемые удельные матзатраты при активной стратегии описываются следующим выражением:

$$\begin{aligned} (20) \quad \bar{c}_{\text{мат}_{\text{акт}}} &= (1 - \alpha^t) \cdot c_{\text{мат}} + \alpha^t \cdot (1 + \beta) \cdot c_{\text{мат}} = \\ &= c_{\text{мат}} \cdot (1 + \alpha^t \cdot \beta). \end{aligned}$$



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

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

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

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

При активной стратегии возникают дополнительные затраты на ТПП, а также 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 старого агента по завышенной цене. 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 в единицу времени. Здесь мы рассматриваем $c_{\text{смена}}$, $c_{\text{поиск}}$ как удельные затраты на одну смену агента.

При оценке трудовых затрат мы также учитываем эффект обучения и возрастание выпуска до Q' за весь ЖЦИ. Трудовые затраты виртуального предприятия за весь ЖЦИ соответствующего финального изделия можно выразить следующим образом.

$$(25) C_{\text{тп}}^{\text{мин}}(Q') = x \cdot C_{\text{тп}}(Q' / x) = x \cdot c_{\text{тп}}^1 \cdot \sum_{q=1}^{Q'/x} (1 - \lambda)^{\log_2 q} \approx \\ \approx c_{\text{тп}}^1 \cdot \frac{x \cdot (Q' / x)^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{1 + \log_2(1 - \lambda)} = c_{\text{тп}}^1 \cdot \frac{x \cdot \left(\frac{Q \cdot N \cdot m}{k} \right)^{1 + \log_2(1 - \lambda)}}{1 + \log_2(1 - \lambda)}$$



$$= c_{mp}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m / k)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{(1+\log_2(1-\lambda)) \cdot x^{\log_2(1-\lambda)}}.$$

Тогда трудовые затраты в отрасли будут описываться следующей формулой:

$$(26) C_{mp_{акт}} = C_{mp}(Q'/x) \cdot x \cdot k =$$

$$x \cdot k \cdot \left(\frac{Q \cdot N \cdot m / k}{x} \right)^{1+\log_2(1-\lambda)}$$

$$= c_{mp}^1 \cdot \frac{x}{1+\log_2(1-\lambda)} =$$

$$c_{mp}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{(1+\log_2(1-\lambda)) \cdot x^{\log_2(1-\lambda)} \cdot k^{\log_2(1-\lambda)}}$$

Суммарные затраты в отрасли с сетевой организационной структурой и виртуальными предприятиями будут определяться следующим итоговым выражением:

$$(27) TC = FC + VC = FC + C_{mat_{акт}} + x \cdot k \cdot c_{смена} + C_{mp_{акт}} =$$

$$= \{t \cdot \gamma + (1-\gamma) \cdot x \cdot k\} \cdot FC + c_{mat} \cdot (1 + \alpha^t \beta) \cdot Q \cdot (N \cdot m) +$$

$$+ x \cdot k \cdot (c_{поиск} + \tau_{см} \cdot j \cdot c_{mat} \cdot \beta) +$$

$$+ c_{mp}^1 \cdot \frac{(Q \cdot N \cdot m)^{1+\log_2(1-\lambda)}}{(1+\log_2(1-\lambda)) \cdot x^{\log_2(1-\lambda)} \cdot k^{\log_2(1-\lambda)}}.$$

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, $t = 3$ конкурирующих предприятия, а модельный ряд в отрасли сокращается до $k = 4$ типов финальных изделий. Соответственно, серийность выпуска 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 $FC = 2$ млрд долл., причем, доля общих постоянных затрат $\gamma = 80\%$. Удельные трудозатраты на выпуск первого экземпляра изделия $c_{\text{тр}}^I = 15$ млн долл., темп обучения $\lambda = 10\%$. Удельные материальные 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 (т.н. *средние постоянные издержки*). В рамках данной модели, сокращение потребных постоянных затрат достигается за счет двух факторов:

- специализация предприятий на выпуске компонентов ($t < N$);
- сокращение модельного ряда финальных изделий ($k < N \cdot m$).



Влияние первого фактора будет тем сильнее, чем выше коэффициент γ , 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]. Т.е. гораздо большую роль играет специализация предприятий на выпуске компонент, а не сокращение 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 отдельных предприятий: вполне можно обеспечить выполнение условия $k > m$, при $k < N \cdot m$.

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.



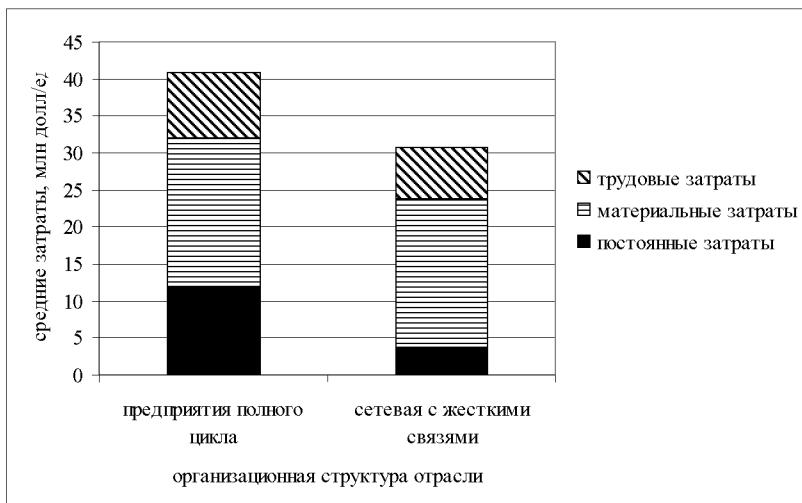


Рис. 3. Средняя себестоимость изделий при переходе от полного цикла производства к сетевой структуре (изменчивость отпускных цен поставщиков отсутствует)

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 НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ 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 существенно возрастают при переходе к сетевой структуре отрасли, сравним формулы (8) и (14). Этот эффект



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 завышать отпускные цены. Пусть удельные материальные затраты могут случайным образом повышаться на $\alpha = 100\%$ (т.е. вдвое), в течение $\beta = 50\%$ календарного времени. Средняя продолжительность периода низких отпускных цен $T_{\text{низк}} = 5$ лет.

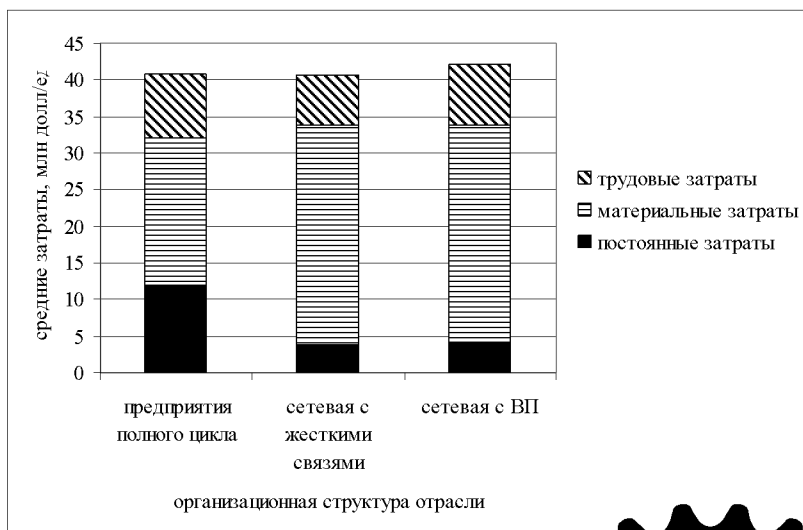


Рис. 4. Средняя себестоимость изделий при переходе от полного цикла производства к сетевой структуре (учитывается изменчивость отпускных цен поставщиков)

Т.е., несмотря на вышеописанные преимущества сетевых структур, контрактные риски приводят к тому, что традиционная вертикально интегрированная структура с полным циклом производства оказывается выгоднее. При этом, несомненно,



учитывать, что в упрощенной модели (12) изменчивость отпускных цен поставщиков считается случайной. Но в реальности независимые поставщики 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 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.



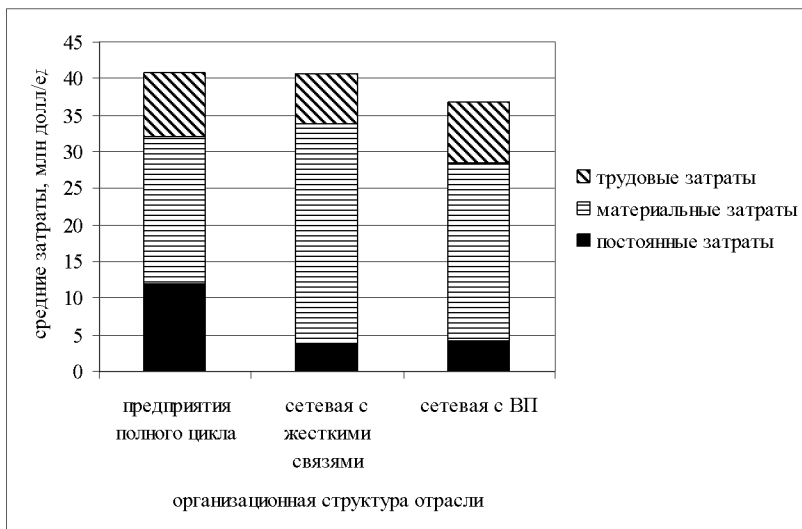


Рис. 5. Средняя себестоимость изделий при переходе от полного цикла производства к сетевой структуре с жесткими и гибкими связями

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 наукоемкой промышленности. В ряде работ (см., например, [4]), наряду с меньшими ожидаемыми затратами и рисками, в числе преимуществ виртуальных предприятий упоминаются также возможности увеличения выручки за счет гибкого удовлетворения изменчивого спроса, меньшего времени вывода нового продукта на рынок.

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 виртуальных

ного 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 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.

4. Заключение

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

1) Переход от полного цикла производства к сетевым 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 т.ч. 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. – 400 с.
8. ТРЕТЬЯК О. А., РУМЯНЦЕВА М. Н. *Сетевые формы межфирменной кооперации: подходы к объяснению фено-*



мена // Российский журнал менеджмента. – 2003. – № 1. – С. 77-102.

9. 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.
10. 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: A 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

