
**ПРОБЛЕМЫ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА АДАПТИВНОСТИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОГРАММ
И ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР ПРЕДПРИЯТИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА И АВИАСТРОЕНИЯ)**

© 2007 г. В. В. Ключков, Д. И. Сазонов

(Москва)

Предлагается интегральный показатель адаптивности производственных систем, имеющий наглядную экономическую интерпретацию. Приводятся примеры из различных отраслей народного хозяйства.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время условия работы предприятий в различных отраслях экономики демонстрируют значительную нестабильность по целому ряду причин (политические изменения, бурное развитие технологий и т.п.). В работах российских и зарубежных экономистов, например (Качалов, 2002; Клейнер, Тамбовцев, Качалов, 1997; Тренев, 2002; Christopher, Towill, 2000; Tsourveloudis, Valavanis, Gracanin, Matijasevic, 1999), подчеркивается, что при разработке стратегии предприятий и отраслей следует уделять внимание не только оптимизации традиционных финансовых показателей (прибыли, рентабельности), но и повышению *адаптивности*, т.е. гибкости, приспособляемости предприятия к меняющимся условиям работы и, как следствие, его устойчивости. Аналогичные проблемы возникают не только в сфере стратегического управления предприятиями, но и в сфере государственного управления (см., например (May, 2005)). В настоящее время активно разрабатываются организационные и технологические решения, призванные повысить адаптивность как производственных программ, так и организационных структур предприятий (Багриновский, Тренев, 1999; Бендиков, 2004). Так, в работе (Багриновский, Тренев, 1999) описывается механизм адаптации предприятия к меняющимся условиям, основанный не на административном принуждении подразделений и работников, а на их способности к самоорганизации при наличии общих экономических интересов.

В то же время мероприятия по повышению адаптивности, как правило, сопряжены со значительными затратами и усилиями со стороны руководства предприятия. Нередко повышение гибкости предприятия приходится проводить в ущерб эффективности его функционирования в стабильных условиях (Christopher, Towill, 2000). Несмотря на внимание, уделяемое в настоящее время учеными-экономистами и руководителями предприятий повышению их приспособляемости, ощущается дефицит объективных количественных оценок адаптивности как характеристики производственной системы. Наличие таких оценок поможет руководству предприятий принимать экономически обоснованные стратегические решения. Актуальны проблемы измерения адаптивности и в процессе оценки эффективности инвестиционных проектов (см. (Виленский, Лившиц, Смоляк, 2004; Tsourveloudis, Valavanis, Gracanin, Matijasevic, 1999)).

Далее будут построены аналитические методы количественной оценки адаптивности производственных программ и организационных структур предприятий.

**УПРОЩЕННАЯ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ К ИЗМЕНЕНИЮ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ**

Поскольку изменение внешних условий работы предприятия далеко не всегда поддается прогнозированию, для анализа процессов адаптации к меняющимся условиям предлагается использовать аппарат теории принятия решений в условиях риска и неопределенности. Представим процесс функционирования предприятия в нестабильной среде в виде *статистической игры*, или *игры с природой* (см., например (Таха, 2001; Экономико-математический энциклопедический словарь, 2003)). Под *состояниями природы* будем подразумевать определенные сочетания параметров окружения предприятия (рыночного, политического, технологического, природно-

климатического и т.п.) В качестве *стратегий* предприятия могут рассматриваться решения относительно объемов выпуска и ассортимента продукции, те или иные организационные структуры и т.д. В реальности множества стратегий и состояний природы могут быть континуальными, но здесь для простоты они считаются счетными и конечными, поэтому рассматриваемая игра с природой является матричной (это ограничение не является принципиальным для предлагаемого ниже подхода и в дальнейшем может быть снято). Возможные состояния природы обозначим индексами $i = 1, \dots, n$, а стратегии предприятия – $k = 1, \dots, m$. *Платежная матрица* V размером $m \times n$ состоит из элементов $\|v_{ik}\|$, которые представляют собой выигрыш предприятия, выбравшего стратегию k , если природа находится в состоянии i . Под выигрышем можно подразумевать любой критерий работы предприятия (например, прибыль или поток затрат за период и т.п.). Разумеется, можно сразу исключить из рассмотрения все *мажорируемые* стратегии предприятия, которые при любом состоянии природы не лучше по меньшей мере одной из оставшихся стратегий.

В данном случае игра рассматривается как динамическая. Природа может переходить из состояния i в j с некоторой интенсивностью λ_{ij} . Интенсивность – это вероятность того, что природа, будучи изначально в состоянии i , перейдет в j в течение единицы времени. Предположим, что случайный процесс смены состояний природы является марковским (подробнее см. (Вероятность и математическая статистика, 1999)) и описывается переходной матрицей Λ размером $n \times n$, состоящей из элементов $\|\lambda_{ij}\|$. Их оценка (экспертным путем или статистическими методами на основе исторических данных) является одной из главных проблем, возникающих при практическом использовании излагаемого здесь подхода. По прошествии достаточно длительного времени, превышающего по порядку величины $1/\min_{i,j} \lambda_{ij}$, произойдет статистическая стабилизация состояний природы, и каждому состоянию будет соответствовать некоторая *финальная вероятность* p_i . Ее физический смысл – средняя доля времени пребывания природы в состоянии i . Финальные вероятности, как показано в ряде работ по теории случайных процессов (например (Вероятность и математическая статистика, 1999)), можно вычислить как компоненты собственного вектора транспонированной переходной матрицы, которому соответствует собственное число 1. То есть вектор-столбец финальных вероятностей $\vec{p}$ удовлетворяет условию $\Lambda^T \vec{p} = \vec{p}$. В установившемся режиме частота переходов (т.е. среднее число переходов в единицу времени) природы из одного состояния в другое равна $\eta_{ij} = p_i \lambda_{ij}$.

Элементы $\|\eta_{ij}\|$ составляют матрицу частот переходов H , имеющую размерность $n \times n$. Можно показать, что в матрице H сумма элементов каждого столбца равна сумме элементов строки с соответствующим номером. Более того, эти суммы равны финальной вероятности данного состояния:

$$\forall i = 1, \dots, n: \sum_{j=1}^n \eta_{ij} \equiv \sum_{j=1}^n \eta_{ji} \equiv p_i,$$

т.е. сумма частот ухода из состояния i в другие состояния и сумма частот входа в это состояние из всех других состояний в установившемся режиме равны друг другу, что и обеспечивает стабильность финальных вероятностей различных состояний природы.

Если известны вероятности состояний природы, задача выбора предприятием оптимальной стратегии становится задачей принятия решений в условиях риска (подробнее в (Дубров, Лагоша, 2001; Таха, 2001)). Если избрать какую-либо стратегию k в качестве стационарной, т.е. постоянно придерживаться ее при всех изменениях состояний природы, ожидаемый выигрыш составит

$$V_k = \sum_{i=1}^n v_{ik} p_i.$$

Назовем *оптимальной* стационарной стратегией k_{opt}^{stat} в данной игре такую стратегию, которая обеспечивает максимальный ожидаемый выигрыш

$$k_{opt}^{stat} = \operatorname{argmax}_k V_k.$$

В то же время, если бы в каждом состоянии природы предприятие могло придерживаться стратегии, оптимальной именно для данного состояния, т.е.

$$k_{opt}(i) = \operatorname{argmax}_k V_{ik} | i,$$

то ожидаемый (с учетом вероятностей различных состояний природы) выигрыш повысился бы до уровня

$$V_{max} = \left(\sum_{i=1}^n V_{i, k_{opt}(i)} \right) p_i = \sum_{i=1}^n (\max_k V_{ik} | i) p_i.$$

В теории статистических игр разность

$$\Delta V = V_{max} - \max_k V_k = \left[\sum_{i=1}^n (\max_k V_{ik} | i) \right] p_i - \max_k \left(\sum_{i=1}^n V_{i, k} \right) p_i$$

называется *ценой полной информации* (далее ЦПИ). Как правило, экономическая интерпретация ЦПИ такова: это максимальная величина платежа, который целесообразно внести за полное и достоверное предсказание будущих состояний природы. В некоторых работах по исследованию операций в экономике (например (Дубров, Лагоша, 2001)) говорится, что ЦПИ можно интерпретировать как наибольшую теоретически приемлемую стоимость маркетинговых исследований, позволяющих достоверно прогнозировать будущие изменения рыночной конъюнктуры. Однако, как будет показано в приведенных ниже примерах, многие реальные ситуации изменения внешних условий являются для предприятия практически непрогнозируемыми, и никакие разумные расходы на маркетинг не позволят изменить такое положение дел.

В данном случае игра с природой рассматривается как динамическая, поэтому экономический смысл описанных выше оптимальных стратегий, выигрышей и ЦПИ несколько меняется. На первый план выходит уже не точность предсказания будущих состояний природы (тем более что ряд исследователей скептически оценивает перспективы подобного прогнозирования на динамично развивающихся рынках, например (May, 2005)), а возможность адаптации предприятия к меняющимся условиям. Тем не менее информационный смысл понятия ЦПИ не теряет своей актуальности: только при наличии развитых систем мониторинга окружения (в том числе системы маркетинга) и при условии корректного анализа принимаемых управленческих решений предприятие способно адаптироваться к изменившимся условиям оптимальным образом.

В динамической постановке задачи можно считать, что V_{max} – это ожидаемый выигрыш при идеальной адаптации предприятия к новым условиям, т.е. происходящей мгновенно и без затрат. Разумеется, такой идеал недостижим. Реальную адаптивность предприятия определяют конечные затраты времени и средств, связанные с переключением на новую стратегию. Обозначим c_{kl} непосредственные затраты на переход предприятия от стратегии k к l , τ_{kl} – среднюю продолжительность перехода. Матрицы затрат средств и времени на смену стратегии C и T размерностью $m \times m$, очевидно, имеют нулевую главную диагональ, поскольку при отсутствии смены стратегии затраты средств и времени на переключение отсутствуют.

Примем предположение, что переключение всегда происходит оптимальным образом, т.е. предприятие переключается именно на ту стратегию, которая является оптимальной в новых условиях. На основании матриц C , T и платежной матрицы V можно составить матрицы затрат средств и времени на смену стратегии предприятия при каждом переходе природы из одного состояния в другое, имеющие размерность $n \times n$. Матрица затрат средств $\tilde{C}$ составлена из следующих соображений. Ее элементы $\|\tilde{c}_{ij}\|$ равны непосредственным затратам на смену стратегии, оптимальной в состоянии природы i , на стратегию, оптимальную в состоянии j : $\tilde{c}_{ij} = c_{k_{opt}(i), k_{opt}(j)}$. Аналогично, матрица затрат времени $\tilde{T}$ составлена из элементов $\|\tilde{\tau}_{ij}\|$: $\tilde{\tau}_{ij} = \tau_{k_{opt}(i), k_{opt}(j)}$.

Естественно, время, необходимое для переключения на новую стратегию, по порядку величины должно быть много меньше характерного времени непрерывного пребывания “природы” в том или ином состоянии – иначе переключение заведомо бессмысленно. Если это ограничение выпол-

няется, во многих случаях можно свести два параметра – время и стоимость переключения – только к стоимости следующим образом:

$$z_{ij} = \tilde{c}_{ij} + \tilde{\tau}_{ij}(V_{j, k_{opt}(j)} - V_{j, k_{opt}(i)}),$$

где второе слагаемое представляет собой упущенную выгоду вследствие того, что в течение времени $\tilde{\tau}_{ij}$ предприятие вынуждено придерживаться стратегии, которая уже не является оптимальной в новых условиях. Матрицу Z размерности $n \times n$, состоящую из элементов $\|z_{ij}\|$, можно назвать *матрицей полных стоимостей переходов*.

Если переключение стратегии предприятия при всех изменениях состояния природы признано целесообразным, тогда ожидаемый поток затрат и потерь предприятия, непосредственно связанных с его адаптацией к меняющимся условиям, будет равен

$$C_{\text{адапт}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \eta_{ij} z_{ij},$$

т.е. скалярному произведению матриц частот и полных стоимостей переходов.

Заметим, что в статической постановке задачи можно предложить рациональный выбор стратегии в статистических играх и при отсутствии априорной информации о вероятностях состояний природы. Для этого служат такие методы принятия решений в условиях неопределенности, как критерии Вальда, Сэвиджа, Гурвица, “принцип недостаточного основания” Лапласа и т.п. (подробнее в (Дубров, Лагоша, 2001; Смоляк, 2005; Таха, 2001)). Однако оценка затрат на адаптацию предприятия в рамках рассмотренной здесь динамической модели требует наличия оценок интенсивностей перехода между состояниями природы. Изменение внешних условий и адаптация предприятия к ним – это динамические процессы, и для того, чтобы их анализировать, необходимо знать их динамические характеристики.

Необходимо также учитывать постоянные затраты на обеспечение гибкости предприятий $C_{\text{гибк}}$, происхождение которых имеет свою специфику в различных отраслях. Как правило, элементы матриц затрат средств и времени на переключение $\|c_{kl}\|$ и $\|\tau_{kl}\|$ убывают с ростом $C_{\text{гибк}}$, поэтому оптимальное значение этой величины следует определять, решая следующую оптимизационную задачу:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{адапт}} + C_{\text{гибк}} \longrightarrow \min_{C_{\text{гибк}}}.$$

Если же избирательное повышение адаптивности предприятия (т.е. снижение затрат и потерь на адаптацию к определенным состояниям природы) возможно, то в первую очередь оно должно проводиться на тех направлениях, где изменения условий работы предприятия наиболее часты, т.е.

$$(i, j) = \underset{(i, j)}{\operatorname{argmax}} \eta_{ij}.$$

В более общей постановке управляющими параметрами в подобных оптимизационных задачах могут быть индикаторы переключения предприятия с одной стратегии на другую при тех или иных изменениях состояний природы $\|\delta_{ij}\|$. Данные индикаторы могут принимать значения 0 (если предприятие не меняет стратегию на более выгодную в новом состоянии природы) или 1. Этот аспект приобретает особую актуальность в тех случаях, когда возможные выгоды от переключения по порядку величины близки к соответствующим затратам, т.е. при выполнении условия

$$z_{ij} \approx \bar{t}_j (V_{j, k_{opt}(j)} - V_{j, k_{opt}(i)}),$$

где $\bar{t}_j$ – среднее время непрерывного пребывания природы в состоянии j . Разумеется, если переключение происходит не при каждом изменении состояний природы, ожидаемый выигрыш (даже без учета затрат на адаптацию) будет меньше, чем $V_{\max}$, и это необходимо учитывать при отыскании оптимальных значений индикаторов переключения $\|\delta_{ij}\|$.

Описанные выше оптимизационные модели, в рамках которых предприятия выбирают оптимальные для себя характеристики адаптивности, могут служить элементами моделей общего равновесия. Строго говоря, аппарат статистических игр подразумевает (см. (Дубров, Лагоша, 2001; Таха, 2001)), что природа (например, глобальное макроэкономическое окружение, или собственно природа) нечувствительна к поведению разумного участника. В то же время в данном случае может присутствовать обратная связь, поскольку рыночное окружение фирмы со-

стоит из аналогичных фирм. Поэтому подобные модели могут использоваться в итеративном режиме: при заданных состояниях “природы” и интенсивностях переходов отыскивается оптимальная стратегия фирмы, на основе которой корректируется набор возможных состояний природы, платежная и переходная матрицы, после чего вновь оптимизируется уровень адаптивности фирмы, и т.д.

Полученную величину C_Σ (с оптимизацией или без нее) можно считать интегральной стоимостной оценкой степени адаптивности предприятия. Весьма важно, что эта оценка является скалярной, а не векторной величиной. В этом состоит важное отличие описанного подхода от предлагаемого в работе (Tsourveloudis, Valavanis, Gracanin, Matijasevic, 1999), где экспертные оценки различных аспектов адаптивности группируются в четыре обобщающих балльных показателя, характеризующих гибкость персонала предприятия, его оборудования, информационно-управляющих систем и рыночной инфраструктуры. С одной стороны, безусловно, адаптивность предприятия – сложная и многоаспектная характеристика, и ее многомерное представление более корректно. С другой стороны, наличие обобщающего скалярного показателя упрощает моделирование поведения фирм и процесс принятия решений. Предлагаемый здесь подход отличается наглядной интерпретацией степени адаптивности предприятия в терминах финансово-экономических показателей его работы (впрочем, как справедливо отмечено в работе (Бендилов, 2004), при анализе устойчивости производственных систем не следует абсолютизировать роль традиционных финансовых показателей, таких, как прибыль или рентабельность). Авторы работы (Tsourveloudis, Valavanis, Gracanin, Matijasevic, 1999) также указывали на необходимость измерения адаптивности с экономических позиций, а предложенная в этой работе методология детального анализа гибкости персонала, оборудования, информационно-управляющих систем и рыночной инфраструктуры, безусловно, может быть использована для построения вышеописанных матриц V , C и T .

Однако само по себе абсолютное значение C_Σ недостаточно информативно. Наиболее наглядной экономической оценкой степени адаптивности предприятия, в рамках предлагаемой модели, следует считать отношение C_Σ к ЦПИ: $\beta = C_\Sigma / \Delta V$. Эта величина является относительной мерой адаптивности и показывает, какая доля потенциально возможного выигрыша от адаптации предприятия к меняющимся условиям теряется за счет ненулевых затрат времени и средств, связанных с изменением стратегии. Очевидно, что в тех случаях, когда $\beta \approx 1$, гибкое приспособление стратегии предприятия к внешним изменениям становится бессмысленным, и оптимальной становится пассивная стратегия k_{opt}^{stat} . Напротив, если $\beta \ll 1$, гибкое переключение стратегий является наиболее целесообразным. Разумеется, и такая относительная мера адаптивности еще не дает исчерпывающей информации для принятия решений. Целесообразно также вычислять отношение ЦПИ к ожидаемому выигрышу при оптимальной стационарной стратегии $\gamma = \Delta V / \max_k V_k$. Данная величина

может служить относительной мерой чувствительности предприятия к изменениям условий работы и наряду с β определяет целесообразность адаптации к этим изменениям. Если $\gamma \ll 1$, тогда гибкое изменение стратегий предприятия нецелесообразно безотносительно к значению β .

В качестве иллюстрации применения предложенных выше подходов рассмотрим два примера из различных отраслей. Расчеты по вышеописанному алгоритму выполнены с помощью программы, специально разработанной в среде Microsoft EXCEL, что обеспечивает возможность ее самостоятельного воспроизведения и модификации силами заинтересованных пользователей различной квалификации.

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА АВИАКОМПАНИЯМИ ТИПОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Гражданская авиация (как в России, так и за рубежом) является одной из самых высокорисковых отраслей, работающих в нестабильных условиях. Во-первых, спрос на авиаперевозки подвержен резким колебаниям. Следует признать, что эти колебания в настоящее время мало предсказуемы, несмотря на большой объем научных и практических работ, посвященных прогнозированию спроса на услуги воздушного транспорта. Например, после трагических событий 11.09.2001 г., а также эпидемии SARS, спрос на пассажирские авиаперевозки по всему миру сократился примерно на треть (Костромина, 2002; Мазнева, 2005). В результате только в США несколько сотен исправных воздушных судов было выведено из эксплуатации, законсервировано и поставлено на длительное хранение. Во-вторых, не только спрос на продукцию и выручка, но и затраты авиакомпаний подвержены резким изменениям. В структуре затрат воздушного

транспорта все более весома доля затрат на приобретение горюче-смазочных материалов (ГСМ), и рост цен на авиационное топливо оказывает в последние несколько лет наиболее сильное негативное влияние на экономическое положение отрасли как в России, так и за рубежом. По данным (Мазнева, 2005) по сравнению с летом 2004 г. средняя цена тонны авиатоплива в мире возросла к концу 2005 г. с 350–400 до 550–600 долл. за тонну; при этом в аэропортах Москвы она достигла 650 долл. за тонну. В свою очередь причиной подорожания топлива является глобальный рост цен на энергоносители, обусловленный целым рядом факторов различной природы.

Помимо глобальных изменений спроса на авиаперевозки и затрат авиакомпаний наблюдаются и значительные колебания этих величин в отдельных регионах России и мира, на отдельных направлениях и авиалиниях. Следует отметить, что риск изменения экономических условий работы на конкретной авиалинии гораздо выше, чем риск изменения условий работы гражданской авиации в целом (Костромина, 2002), так как относительное изменение общепромышленных показателей представляет собой средневзвешенное изменение показателей отдельных авиалиний. В случае изменения условий работы на отдельных авиалиниях возможен *маневр парком* воздушных судов, т.е. их перестановка с одной авиалинии на другую, поскольку для каждой конкретной авиалинии при заданном пассажиропотоке будет оптимальным использование определенного типа воздушных судов.

Рассмотрим упрощенный пример. Предположим, что единственным фактором риска являются колебания пассажиропотока на данной авиалинии, который может изменяться от 125 до 325 пассажиров за рейс (эти границы определяются экспертными оценками либо на основе статистики фактического объема перевозок). Для простоты расчетов и оценок целесообразно разбить весь диапазон возможных изменений пассажиропотока на несколько непересекающихся интервалов, которые будут соответствовать различным состояниям природы. Разделим диапазон изменения пассажиропотока на $n = 4$ интервала равной длины с границами 125–174, 175–224, 225–274 и 275–325 пассажиров за рейс. Предположим, что интенсивности изменений пассажиропотока на данной авиалинии описываются следующей переходной матрицей:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.25 & 0.05 \\ 0.15 & 0.5 & 0.25 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.6 & 0.2 \end{pmatrix}.$$

Для данной матрицы вектор-столбец финальных вероятностей $\vec{p}$ будет иметь вид:

$$\vec{p} = (0.2; 0.4; 0.3; 0.1)^T,$$

а матрица частот переходов –

$$H = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.04 & 0.05 & 0.01 \\ 0.06 & 0.2 & 0.1 & 0.04 \\ 0.03 & 0.15 & 0.09 & 0.03 \\ 0.01 & 0.01 & 0.6 & 0.2 \end{pmatrix}.$$

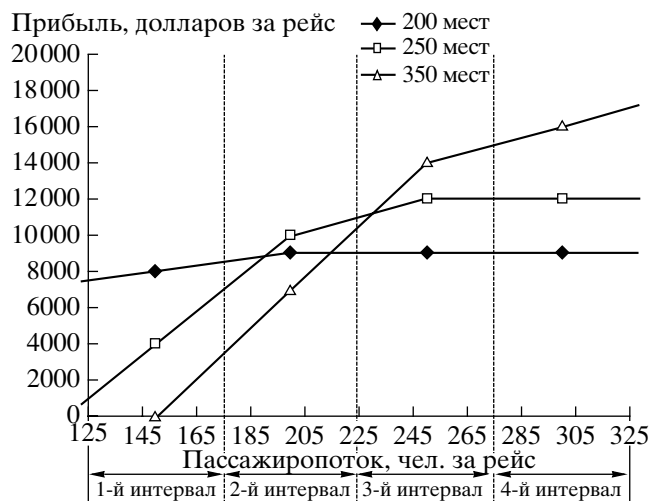


Рис. 1. Прибыль авиакомпании при различных значениях пассажиропотока и при использовании различных типов воздушных судов.

Стратегией авиакомпании в данном примере является выбор подходящего типа воздушных судов для обслуживания авиалинии. Предположим, что на данном маршруте авиакомпания может эксплуатировать воздушные суда трех типов, которые различаются максимальной пассажироместимостью, составляющей, соответственно, 200, 250 и 350 мест. На рис. 1 приведены графики зависимостей прибыли авиакомпании (в расчете на один рейс) от пассажиропотока на данной авиалинии при использовании перечисленных типов воздушных судов. Естественно, прибыль за рейс перестает возрастать с ростом числа пассажиров, желающих улететь, когда это число превышает максимальную вместимость воздушного судна данного типа. На основании этих зависимостей строится платежная матрица:

$$V = \begin{pmatrix} 8000 & 9000 & 9000 & 9000 \\ 4000 & 10000 & 12000 & 12000 \\ 0 & 7000 & 14000 & 16000 \end{pmatrix}.$$

Элемент платежной матрицы V_{ik} определяется как ожидаемая прибыль (в долларах) за рейс при выборе воздушного судна типа k для обслуживания данной авиалинии при значении пассажиропотока, соответствующего середине интервала i , т.е. соответственно, 150, 200, 250 и 300 пассажиров за рейс.

Значение ожидаемого выигрыша V_k составит 8800 долл. для первой стратегии, 9600 долл. для второй и 8600 долл. для третьей. Оптимальной стационарной стратегией k_{opt}^{stat} в данной игре будет вторая стратегия (т.е. использование воздушного судна максимальной вместимостью 250 пассажиров). Ожидаемый выигрыш при наличии информации о будущих значениях пассажиропотока и при идеальной адаптации (т.е. при движении строго по верхней огибающей графиков, приведенных на рис. 1) V_{max} составит 11400 долл. Тогда ЦПИ составит 1800 долл., а показатель γ равен 19%, т.е. адаптация потенциально может быть целесообразной.

Предположим, что матрица затрат средств на смену стратегии (т.е. на смену типа воздушного судна, используемого в данном рейсе) C имеет вид:

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1500 & 2200 \\ 1000 & 0 & 2000 \\ 1200 & 1700 & 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда, зная, какие типы воздушных судов являются оптимальными в том или ином диапазоне значений пассажиропотока, можно построить матрицу стоимостей переходов $\tilde{C}$:

$$\tilde{C} = \begin{pmatrix} 0 & 1500 & 2200 & 2200 \\ 1000 & 0 & 2000 & 2000 \\ 1200 & 1700 & 0 & 0 \\ 1200 & 1700 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Элементы переходной матрицы Λ оцениваются как частоты переходов пассажиропотока из диапазона i в диапазон j за один шаг по времени, в качестве которого здесь выступает интервал между рейсами. Выбор шага по времени обусловлен возможностями адаптации авиакомпании к изучаемым изменениям пассажиропотока. Как показано выше, адаптация целесообразна только в тех случаях, когда смена типа воздушного судна на данной авиалинии происходит быстрее, чем изменение пассажиропотока. Поэтому необходимо, чтобы смена типа воздушного судна была возможна непосредственно в промежутке между двумя рейсами. Если время, затрачиваемое на смену типа воздушного судна, мало по сравнению с шагом по времени, как и предполагалось выше, то матрица полных стоимостей переходов Z будет численно равна $\tilde{C}$.

Расчет показывает, что ожидаемый поток затрат и потерь авиапредприятия, непосредственно связанных с его адаптацией к меняющимся условиям, $C_{адапт}$, составит 852 долл. за рейс. Отношение C_{Σ} к ЦПИ составит 47%, т.е. в данном случае оперативная смена типов воздушных судов может быть признана целесообразной для авиакомпании.

Даже в этом чрезвычайно упрощенном примере не всегда можно пренебречь величиной постоянных затрат на обеспечение гибкости $C_{\text{гибк}}$. Приспособляемость авиакомпании к меняющемуся пассажиропотоку на конкретных авиалиниях тем лучше, чем больше диапазон пассажировместимости располагаемого парка воздушных судов. В то же время эксплуатация неоднородного парка воздушных судов (Костромина, 2002) сопряжена для авиакомпании с целым рядом дополнительных затрат и потерь. Они вызваны необходимостью переучивания летного и наземного персонала, содержания широкой номенклатуры специализированного, не всегда поддающегося унификации оборудования для обслуживания авиатехники, и т.п. Необходимо соотносить эту “плату за разнообразие” и найденную выше выгоду от применения в каждом рейсе воздушных судов, имеющих наиболее подходящую пассажировместимость.

В то же время сами авиастроительные предприятия могут, опираясь на подобные модели, сформировать оптимальный для авиакомпаний продуктовый ряд (типаж) самолетов различной пассажировместимости, по возможности унифицированных между собой по составу используемого сервисного оборудования, двигателям, оборудованию кабины и т.п. Для достижения конкурентоспособности российской авиационной промышленности необходимо стремиться к удовлетворению запросов авиакомпаний, работающих в нестабильных условиях, свойственных рынку авиaperевозок.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В последнее десятилетие во многих отраслях промышленности развитых стран (в особенности, в наукоемких и высокотехнологичных отраслях (в авиастроении, автомобилестроении, приборостроении, станкостроении и т.п.)) активно складываются новые виды организационных структур. Сотни или даже тысячи узкоспециализированных поставщиков комплектующих изделий и производственных услуг объединяются в “мягкий” альянс с целью выпуска конкретного конечного продукта (товара или услуги). При этом члены альянса формально являются независимыми предприятиями, могут находиться в различных странах, иметь различную форму собственности и работать в интересах многих заказчиков, в том числе выпускающих конкурирующие продукты. Участников альянса объединяют общие экономические интересы и единая информационная среда, содержащая данные об изделии. Такой альянс получил в экономической литературе и в хозяйственной практике название *виртуального предприятия* (например (Тарасов, 1998)). В зарубежной литературе используется аббревиатура IVE (Industrial Virtual Enterprise). Для предприятий такого типа характерна постоянная смена поставщиков отдельных комплектующих изделий и производственных услуг с целью обеспечения низких закупочных цен при поддержании заданного уровня качества комплектующих и услуг. Можно утверждать, что виртуальное предприятие постоянно находится в процессе реструктуризации. Повышенная гибкость организационной структуры виртуальных предприятий обеспечивается прежде всего организационно-технологическими решениями, позволяющими быстро наладить выпуск комплектующих заданного качества на любом из потенциальных предприятий-поставщиков. Технологии CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support, подробнее (CALS, 2002)), системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы управления научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами (АСУ НИОКР), числовое программное управление (ЧПУ) работой производственного оборудования и др. – все эти информационные системы и технологии по существу открыли путь к формированию виртуальных предприятий в промышленности развитых стран. В то же время разработка и внедрение программно-аппаратных средств CALS требуют значительных затрат времени и средств как со стороны предприятий, так и на уровне отрасли и национальной промышленности в целом, а также изменений в сфере правового регулирования (CALS, 2002). В рамках подхода, предложенного в данной работе, есть возможность проанализировать экономическую целесообразность перехода от традиционной для высокотехнологичных отраслей российской промышленности жесткой вертикальной интеграции к адаптивным производственным системам, построенным на принципах виртуального предприятия. С помощью предложенного критерия проведем анализ адаптивности организационной структуры виртуального предприятия.

В дальнейших рассуждениях примем следующие допущения.

1. Головному предприятию альянса (*системному интегратору*) доступен выбор из $n > 1$ поставщиков комплектующих данного вида либо подрядчиков, выполняющих работы или оказывающих услуги данного вида (в дальнейшем для простоты изложения будем пользоваться еди-

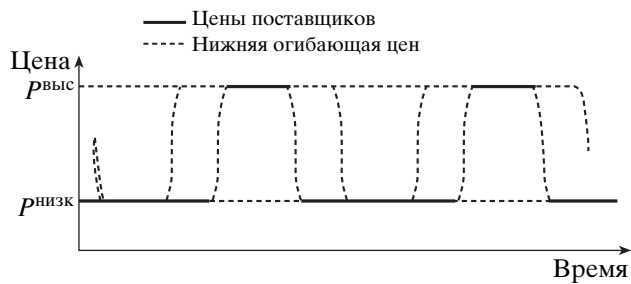


Рис. 2. Динамика отпускных цен поставщиков.

смаатриваемого виртуального предприятия в комплектующих или услугах данного вида, составляющие q единиц в год.

Предположим, что цена предложения каждого поставщика может принимать высокое значение, равное $P_{\text{выс}}$ в среднем на период $T_{\text{выс}}$ (в годах), и низкое значение $P_{\text{низк}} \leq P_{\text{выс}}$, которое наблюдается в среднем в течение $T_{\text{низк}}$ лет. Обозначим амплитуду колебаний цен $\Delta P = P_{\text{выс}} - P_{\text{низк}}$. Случайные процессы изменения цен отдельных поставщиков будем считать независимыми и пуассоновскими (Вероятность и математическая статистика, 1999). Периоды повышения и понижения цен чередуются (рис. 2).

Заметим, что в рамках такого ценового подхода можно моделировать не только изменения отпускных цен поставщиков, но и колебания качества их продукции, которым можно сопоставить определенную стоимостную оценку. В самом деле, незначительное ухудшение уровня качества комплектующих изделий или производственных услуг вызывает следующие возможные последствия для предприятия-заказчика:

- повышение фактической закупочной цены единицы кондиционной продукции за счет выбраковки определенной доли некондиционных комплектующих;
- дополнительные затраты на доработку дефектных комплектующих до установленных параметров качества.

Стратегией головного предприятия можно считать выбор того или иного поставщика, а под состояниями природы подразумевать число “дешевых” (либо “дорогих”) поставщиков. В качестве выигрыша естественно рассматривать закупочную цену, которая может принимать значения $P_{\text{выс}}$ или $P_{\text{низк}}$. Средняя закупочная цена комплектующих или производственных услуг данного вида при стационарной стратегии (т.е. при выборе единственного поставщика, без его смены в дальнейшем) составит

$$\bar{P}_{\text{пассив}} = \frac{P_{\text{выс}} T_{\text{выс}} + P_{\text{низк}} T_{\text{низк}}}{T_{\text{выс}} + T_{\text{низк}}},$$

а при идеальной адаптации организационной структуры (т.е. при условии отслеживания головным предприятием нижней огибающей графиков отпускных цен поставщиков) средняя цена закупки составила бы

$$\bar{P}_{\text{идеал}} = P_{\text{выс}} \left(\frac{T_{\text{выс}}}{T_{\text{низк}} + T_{\text{выс}}} \right)^n + P_{\text{низк}} \left[1 - \left(\frac{T_{\text{выс}}}{T_{\text{низк}} + T_{\text{выс}}} \right)^n \right].$$

Следовательно, ЦПИ в данном примере равна

$$\Delta v = q(\bar{P}_{\text{пассив}} - \bar{P}_{\text{идеал}}).$$

Однако буквальная реализация описанной идеальной стратегии закупок невозможна вследствие ненулевых затрат времени и средств на смену поставщика. Единовременные затраты на смену поставщика обозначим $h^{\text{см}}$. Эти затраты прежде всего обеспечивают технологическую подготовку производства согласно конструкторской и технологической документации, переданной головным предприятием альянса, и освоение отдельным поставщиком производства комплектующих или производственных услуг заданного качества. Время, необходимое для смены поставщика, обозначим $\tau^{\text{см}}$. Оно включает в себя не только продолжительность подготовки производства, но и продолжительность производственного цикла (с учетом доставки комплектующих).

ным термином “поставщики”, имея в виду в том числе и подрядчиков, выполняющих работы или оказывающих услуги производственного назначения). Эти поставщики представляют собой специализированные предприятия, располагающие гибким, универсальным оборудованием и способные выпускать комплектующие изделия или услуги данного вида для различных типов конечных продуктов.

2. Каждый потенциальный поставщик располагает достаточной мощностью, чтобы полностью удовлетворить потребности рас-

щих заказчику), поскольку по окончании подготовки к выпуску регулярные поставки начнутся только по прошествии как минимум одного производственного цикла. Таким образом, суммарные затраты и потери, связанные с каждой сменой поставщика, составят

$$c^{\text{см}} = h^{\text{см}} + \tau^{\text{см}} \Delta P q.$$

Необходимо оценить частоту смены поставщиков. Совокупность потенциальных поставщиков альянса можно представить в виде замкнутой системы массового обслуживания (СМО) (Таха, 2001). Она может находиться в следующих состояниях (рис. 3): S_0 – у всех поставщиков цены высокие; S_i – у поставщиков i , $i = 1, \dots, n-1$, цены снизились; S_n – у всех поставщиков цены снизились.

Интенсивность перехода (т.е. среднее число переходов за год) системы из состояния с номером i в состояние с номером $i+1$ равна $\lambda_{i,i+1} = (n-i)/T^{\text{выс}}$, поскольку в состоянии i потенциально могут снизить цены $n-i$ поставщиков, а интенсивность обратного перехода равна $\mu_{i+1,i} = (i+1)/T^{\text{низк}}$, поскольку в состоянии $i+1$ потенциально могут повысить цены $i+1$ поставщик. Финальные вероятности пребывания системы в различных состояниях связаны между собой следующими соотношениями (так называемыми *формулами Эрланга* (Таха, 2001)):

$$p_{i+1} = (\lambda_{i,i+1}/\mu_{i+1,i})p_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1.$$

Обозначив $\rho = T^{\text{низк}}/T^{\text{выс}}$, получим:

$$p_{i+1} = \rho((n-i)/(i+1))p_i = \rho^{i+1} n! / [(i+1)!(n-i-1)!] p_0.$$

При каждом переходе системы из состояния с номером i в состояние $i-1$ – один из “дешевых” поставщиков повышает цену, причем с вероятностью, равной $1/i$, это именно избранный головным предприятием поставщик, и потребуются его смена. Следовательно, средняя частота смены поставщиков в состоянии с номером i равна

$$\frac{1}{i} \mu_{i,i-1} = \frac{1}{i} \frac{i}{T^{\text{низк}}} = \frac{1}{T^{\text{низк}}}.$$

Заметим, что это не касается, по очевидным причинам, состояния S_0 , а также состояния S_1 , поскольку переход системы из этого состояния в предыдущее состояние S_0 означает, что единственный “дешевый” поставщик также перешел в разряд “дорогих” и менять поставщика в данный момент бессмысленно. В этой ситуации закупки продолжают у прежнего поставщика по “высокой” цене до появления очередной благоприятной возможности. Следовательно, среднее число смен поставщиков за год составит

$$m^{\text{см}} = \frac{1}{T^{\text{низк}}} (1 - p_0 - p_1) = \frac{1}{T^{\text{низк}}} \left(1 - \frac{1 + n\rho}{(1 + \rho)^n} \right),$$

а ожидаемая среднегодовая величина затрат на адаптацию –

$$C_{\text{адапт}} = m^{\text{см}} c^{\text{см}} = \frac{(h^{\text{см}} + \tau^{\text{см}} \Delta P q)}{T^{\text{низк}}} \left(1 - \frac{1 + n\rho}{(1 + \rho)^n} \right).$$

В качестве постоянных затрат на обеспечение гибкости организационной структуры виртуального предприятия $C_{\text{гибк}}$ следует рассматривать прежде всего затраты на разработку и внедрение в отрасли программно-аппаратных средств CALS, включая расходы на обучение персонала новым технологиям управления жизненным циклом продукции.

Таким образом, в рамках данной модели экономическая эффективность активного поиска наилучших поставщиков в условиях изменчивости цен и качества комплектующих изделий и производственных услуг определяется объемами закупок, динамикой (т.е. характерным периодом и амплитудой колебаний) цен закупаемых товаров и услуг и показателей их качества, а также необходимыми временем и затратами на смену поставщика.

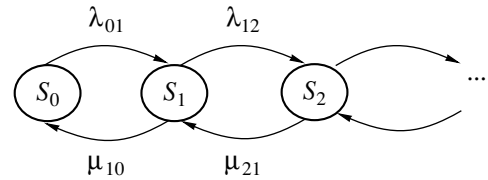


Рис. 3. Граф состояний и переходов системы поставщиков.

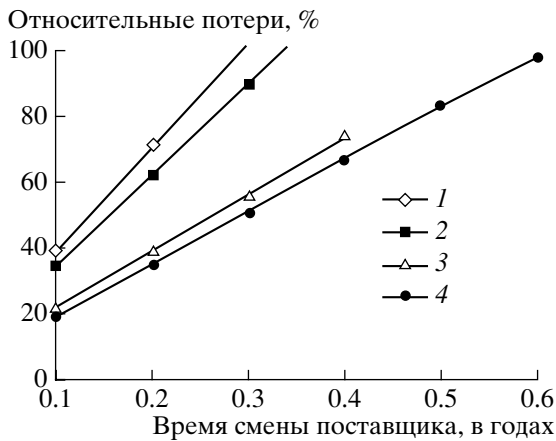


Рис. 4. Влияние динамических характеристик процессов на экономическую эффективность гибкой смены поставщиков.

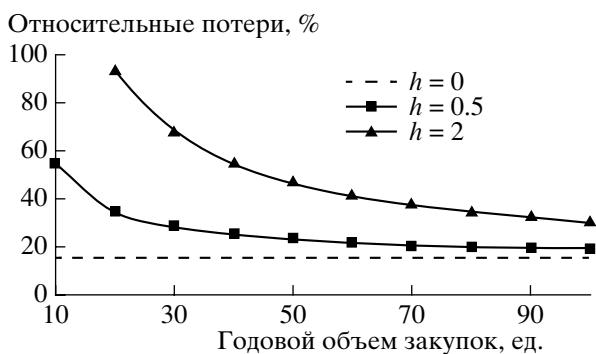


Рис. 5. Влияние объемов закупки комплектующих или услуг на экономическую эффективность гибкой смены поставщиков.

Рассмотрим следующий пример. Пусть головное предприятие намерено закупать у поставщиков определенный вид комплектующих изделий в количестве 100 единиц в год. Потенциальных поставщиков 4, причем в среднем в течение полугода каждый поставщик предлагает изделия по цене 1 млн. долл., а в течение полугода – по 1.2 млн. долл. Прямые затраты на каждую смену поставщика составляют 0.5 млн. долл. На рис. 4 изображена зависимость относительной меры адаптивности виртуального предприятия β от затрат времени на смену поставщика $\tau^{\text{см}}$. Варьируются также периоды повышения и понижения цен поставщиками, см. вспомогательную таблицу.

Таким образом, чем динамичнее процессы изменения цен (относительно процессов смены поставщиков), тем выше относительные потери, связанные с изменением состава виртуального предприятия. Эффективность активного изменения состава виртуального предприятия повышается, если:

- возрастает относительная амплитуда колебаний цен и их характерный период;
- снижаются затраты средств и времени на смену поставщика.

Как видно из приведенных графиков, существуют пороговые значения этих технико-экономических параметров, при которых гибкая смена поставщиков становится бессмысленной и более оправдана традиционная жесткая вертикальная интеграция. Следовательно, появлению виртуальных предприятий в российской высокотехнологичной промышленности должно предшествовать достижение определенного уровня развития информационных технологий, а также реорганизация бизнес-процессов.

На рис. 5 приведены графики зависимости относительных потерь от годового объема закупки головным предприятием комплектующих изделий или производственных услуг. Исходные данные взяты из вышеприведенного примера: периоды повышения и понижения цен приняты равными 1 году; время, необходимое для смены поставщика, равно 0.1 года.

Как видно из графиков на рис. 5, более крупные заказчики имеют преимущество перед мелкими и более заинтересованы в активном поиске оптимальных партнеров. С другой стороны, именно внедрение CALS-технологий позволяет и мелким заказчикам пользоваться благоприятными возможностями закупки комплектующих изделий по низким ценам. Появляется возможность максимально оперативно реагировать на меняющиеся запросы потребителей, осуществляя фактически штучное производство изделий по индивидуальным заказам, оперативную модернизацию конструкций и технологий. Образование виртуальных предприятий позволяет совместить преимущества массового высокоавтоматизированного производства с удовлетво-

Таблица

Длительность периодов, годы	Номер графика			
	1	2	3	4
$T_{\text{низк}}$	0.5	1	0.5	1
$T_{\text{выс}}$	0.5	0.5	1	1

нием индивидуализированного спроса. Виртуальные предприятия можно создавать “под” конкретный проект или даже единичный заказ, что с точки зрения зарубежных специалистов-практиков уже произвело революцию в сфере маркетинга и менеджмента качества. Так, по данным компании “Boeing”¹ внедрение принципов CALS позволило сократить срок финальной сборки пассажирских самолетов семейства Boeing-737 до 11 суток. Сборка осуществляется из модулей, поставляемых субподрядчиками, расположенными как в США, так и за рубежом. Как справедливо отмечает руководство компании, это позволяет более гибко удовлетворять постоянно меняющиеся в условиях изменчивого рынка авиаперевозок запросы авиакомпаний (прежде всего касающиеся комплектации воздушного судна покупными комплектующими изделиями, компонентами салона, и т.п.) и, как следствие, повысить привлекательность и конкурентоспособность продукции.

ВЫВОДЫ

1. Процесс адаптации предприятия к изменяющимся внешним условиям можно представить в виде динамической статистической игры, в которой различным состояниям природы соответствуют возможные сочетания условий работы предприятия. Для предварительной оценки адаптивности производственных систем можно использовать в качестве интегрального критерия адаптивности относительное ухудшение ожидаемого выигрыша по сравнению с мгновенной адаптацией, не требующей затрат.

2. Маневрирование парком воздушных судов может быть действенным способом адаптации авиакомпаний к изменениям пассажиропотока, цен ГСМ и других факторов риска. В этом авиакомпаниям могут способствовать предприятия авиационной промышленности, выпуская по возможности унифицированные между собой модели и модификации воздушных судов различной пассажировместимости и дальности полета.

3. Виртуальные предприятия являются одной из самых перспективных форм организации производства высокотехнологичной и наукоемкой продукции. Однако их образование в российской промышленности целесообразно лишь при условии достижения определенного порогового уровня развития информационных систем и технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багриновский К.А., Тренев Н.Н.** (1999): Моделирование процессов адаптации экономических систем // *Экономика и мат. методы*. Т. 35. Вып. 2.
- Бендиков М.А.** (2004): Организационно-экономические механизмы управления устойчивостью развития крупных наукоемких производств. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук. М.: ЦЭМИ.
- Вероятность и математическая статистика (1999): Энциклопедия. М.: Большая российская энциклопедия.
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.** (2004): Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: Дело.
- Дубров А.М., Лагоша Б.А., Хрусталева Е.Ю., Барановская Т.П.** (2001): Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе. М.: Фин. и стат.
- Качалов Р.М.** (2002): Управление хозяйственным риском. М.: Наука.
- Клейнер Г.Б., Тамбовцев В.Л., Качалов Р.М.** (1997): Предприятие в нестабильной экономической среде: риски, стратегии, безопасность. М.: Экономика.
- Костромина Е.В.** (2002): Экономика авиакомпании в условиях рынка. М.: НОУ ВКШ “Авиабизнес”.
- Мазнева Е.** (2005): Испытание на прочность // *Ведомости*. 29 декабря.
- Мау В.А.** (2005): Логика российской модернизации: исторические тренды и современные вызовы. [Http://www.gazeta.ru](http://www.gazeta.ru).
- Смоляк С.А.** (2005): Критерии оптимального поведения фирмы в условиях неопределенности // *Экономика и мат. методы*. Т. 41. Вып. 3.
- Тарасов В.Б.** (1998): Предприятия XXI века: проблемы проектирования и управления // *Автоматизация проектирования*. № 4 (10).
- Таха Х.** (2001): Введение в исследование операций. М.: Вильямс.
- Тренев Н.Н.** (2002): Предприятие и его структура: анализ, диагностика, оздоровление. М.: Приор.

¹ Компания “Боинг” добилась снижения времени окончательной сборки самолетов Боинг-737 на 50% (по сообщению компании “Боинг” на сайте www.aviaport.ru от 01.02.2005).

- Экономико-математический энциклопедический словарь (2003): М.: Большая российская энциклопедия.
- CALS (2002): CALS (непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении / Под ред. А.Г. Братухина. М.: Изд-во МАИ.
- Christopher M., Towill D.** (2000): Supply Chain Migration from Lean and Functional to Agile and Customized // *Supply Chain Management: An International J.* Vol. 5. № 4.
- Tsourveloudis N.C., Valavanis K.P., Gracanin D., Matijasevic M.** (1999): On the Measurement of Agility in Manufacturing Systems. Proceedings of the 2-nd European Symposium on Intelligent Techniques. June. Chania, Greece.

Поступила в редакцию
6.02.2006 г.

The Methods of Analysis of the Adaptivity of the Production Programs and the Organized Unites of the Enterprises (the Example of Air Fleet and Aero Construction)

V. V. Klochkov, D. I. Sazonov

The authors propose the integrated indicator of adaptivity of the production systems, as well as its graphic interpretation. The examples are given from different brunches of industry.