

УДК 339.1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ОБЪЕДИНЕНИЙ

В. А. Артюхина,

аспирант

В. Н. Ефанов,

доктор техн. наук, профессор

Уфимский государственный авиационный технический университет

Рассматривается роль информационных технологий в задаче анализа и прогнозирования организационно-экономического состояния корпоративных объединений на примере предприятий российского авиапромышленного комплекса. Предлагается методика построения экономико-математической модели корпоративного объединения.

Ключевые слова — информационная технология, экономико-математическая модель, корпорация, идентификация, ортогональный ряд.

Введение

За последнее десятилетие основная часть предприятий авиаприборостроительного профиля Российской Федерации претерпела ряд существенных изменений, главные из которых обусловлены созданием крупных корпоративных структур. В результате были сформированы три корпорации: ОАО «Концерн «Авионика», ОАО «Авиаприбор-холдинг», ОАО «Корпорация «Аэрокосмическое оборудование». Подобные интеграционные процессы связаны, в первую очередь, с необходимостью осуществлять масштабные проекты по модернизации российской авиации, а также с усложнением выпускаемой продукции, основанной на современных наукоемких технологиях. Использование таких технологий требует значительных первоначальных затрат, влекущих концентрацию производственных ресурсов. В настоящее время отмеченная тенденция получила дальнейшее развитие, в результате чего на базе перечисленных корпораций формируется единый «Концерн «Авиаприборостроение».

Вместе с тем позитивный экономический эффект от создания корпоративных объединений может быть утрачен из-за немотивированных или некорректно мотивированных устремлений

к консолидации. Зарубежный и отечественный опыт показывает, что объединение предприятий на корпоративных принципах нуждается в грамотной подготовке и компетентном исполнении. В связи с этим особую актуальность приобретает задача анализа и прогнозирования организационно-экономического состояния предприятий в рамках возможных вариантов корпоративных объединений [1]. Экономическая сущность этой задачи заключается в выборе из числа допустимых или возможных корпоративных схем такой, которая обеспечивает наилучшие значения финансово-экономических результатов и показателей финансово-экономического состояния для всех участвующих субъектов корпорации.

Подобные задачи относятся к категории сложных задач системного анализа, что обуславливается:

— высокой ответственностью, связанной с сильным воздействием на предприятие и его структурные подразделения: немотивированные мероприятия в процессе формирования корпоративной структуры способны не просто ухудшить показатели их деятельности, но и вывести за пределы допустимых состояний, например разорить предприятие или привести к неисполнению заявленных обязательств;

— множественностью показателей состояния и критериев эффективности, вызванной многоаспектным характером трактовки финансово-экономического состояния различных субъектов корпорации, которое оценивается большим числом показателей экономической и технической эффективности, социально-психологическими и социально-политическими показателями, а также показателями экологической безопасности;

— большим числом управленческих решений, которые могут относиться к прерогативе разных лиц, принимающих решение в процессе реформирования различных служб, разных подразделений и уровней управления;

— нетривиальностью связей управленческих решений с показателями состояния, поскольку эти связи, как правило, являются динамическими, перекрестными и стохастическими;

— ограниченностью времени на подготовку, а также проработку и санкционирование решений со стороны ЛПР;

— инерционностью проявления последствий реализуемых управленческих решений и, как следствие этого, невозможностью оперативно парировать нежелательные тенденции после их возникновения и проявления.

С учетом изложенного представляется необходимым разработать специальные информационные технологии, способные эффективно поддерживать управленческую деятельность при решении задач анализа и прогнозирования организационно-экономического состояния корпоративных объединений. При этом основное внимание мы будем уделять совокупности методов подготовки управленческих решений, включая математическое и программное обеспечение для организации компьютерной обработки информации по заданным алгоритмам в целях разработки экономико-математической модели корпорации.

Принципы формирования экономико-математической модели корпоративного объединения

Для построения экономико-математической модели корпоративного объединения (ЭММ КО) необходим комплекс исходных данных, которые характеризуют текущее состояние предприятий и задают их начальное состояние, а также являются прогностическими параметрами при оценке финансово-экономических результатов осуществления предприятиями их производственно-хозяйственной деятельности. Проектирование информационного обеспечения ЭММ КО предусматривает:

— задание номенклатуры используемой информации, включая требования к качеству этих

данных по достоверности, оперативности и полноте;

— определение источников получения информации;

— определение характера поставок информационных ресурсов;

— некоторые специальные условия, в частности, связанные с охраной персональных данных, ограничениями по конфиденциальности, ограничениями по применению и т. д.

Качество информационного обеспечения во многом определяет достижимый уровень эффективности ЭММ КО и качество принимаемых на ее основе управленческих решений, поскольку неполнота, недостаточность и запаздывание исходных данных делают модель неадекватной поставленной управленческой задаче. Уровень качества информационного обеспечения зависит от следующих факторов:

— состава исходных данных, который подразумевает перечень сведений, необходимых для организации управления;

— формы представления исходных данных, задающей степень их подробности, способ компоновки и некоторые специальные свойства;

— периодичности представления либо обновления исходных данных;

— продолжительности и других условий хранения поступившей информации;

— достоверности или неопределенности используемых исходных данных;

— затрат на создание и поддержание информационной инфраструктуры;

— первичных источников информации в виде юридических или должностных лиц и отчетно-учетной, плановой документации и материалов технико-экономических обоснований, экспертиз и т. д.

Исходные данные задаются с учетом примененной организационно-экономической схемы корпоративного объединения и производных внутрикорпоративных финансово-экономических регламентов, тем самым отражая внутрикорпоративные финансово-экономические связи предприятий — членов этой структуры.

Обоснуем состав используемых для построения ЭММ КО исходных данных. Формализация этой задачи предполагает назначение показателей состояния как количественных характеристик, оценивающих степень достижения объектом управления желаемого состояния. Далее необходимо определить состав управляющих воздействий как способ формализации управленческой задачи. Наконец, требуется сформировать совокупность выходных переменных, на основе которых формируется суждение о фактическом удалении объекта управления от желаемого со-

стояния. Введение выходных переменных в дополнение к показателям состояния обусловлено стремлением сформировать комплексную оценку состояния объекта управления. В частном случае выходные переменные могут быть тождественны показателям состояния.

При формировании множества показателей состояния всегда возникает противоречие между стремлением учесть максимальное число показателей для исчерпывающей оценки состояния объекта управления и стремлением минимизировать их число, чтобы сделать модель пригодной для практического применения. В связи с этим выбор этого множества зависит от конкретной управленческой задачи. К числу исходных данных, на основе которых можно сформировать множества показателей состояния, относятся:

- чистый дисконтированный доход предприятия;
- чистая прибыль — это частный случай предыдущего показателя, который часто применяется на практике;
- валовая прибыль;
- рентабельность продаж;
- баланс денежных потоков (баланс наличности на конец финансового периода);
- абсолютные размеры потребных кредитных заимствований предприятия, определяющие зависимость предприятия от кредитно-финансовых учреждений и соответствующую категорию финансовых рисков;
- суммарные налоговые отчисления в консолидированный бюджет и внебюджетные фонды за календарный период;
- федеральные налоги;
- местные налоги;
- величина оборотных средств за календарный период;
- величина ожидаемого непредотвращенного ущерба вследствие возникновения форсмажорных обстоятельств, стихийного бедствия и т. д.;
- численность обеспеченных рабочих мест;
- среднесписочная численность персонала предприятия за календарный период;
- абсолютная величина заработной платы работающего на предприятии в пересчете на среднесписочную численность персонала предприятия за календарный период и т. д.

В настоящее время разработано и применяется значительное число экономико-математических моделей, которые различаются по объему используемой исходной информации, по детальности отслеживания внутренних закономерностей, по общим схемам представления внутренней динамики объектов управления, по требованиям к пользовательским характеристикам, по применяемому аппарату модельной иденти-

фикации, по сфере применения, по универсальности, по сложности и по целому ряду других показателей. В данной работе предлагается универсальная, аналитическая, многофакторная модель, обеспечивающая детерминированную оценку состояния исследуемого объекта на основе ретроспективного анализа его показателей состояния.

Считаем, что связи между показателями состояния, управляющими воздействиями и выходными переменными каждого предприятия, входящего в состав корпорации, описываются совокупностью разностных уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i(k+1) &= \mathbf{A}_i \mathbf{x}_i(k) + \mathbf{B}_i \mathbf{v}_i(k); \\ \mathbf{y}_i(k) &= \mathbf{C}_i \mathbf{x}_i(k), \\ i &= 1, 2, \dots, N, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{x}_i(k)$, $\mathbf{v}_i(k)$, $\mathbf{y}_i(k)$ — соответственно векторы переменных состояния, управляющих воздействий (локальные управляющие воздействия со стороны менеджмента данного предприятия) и выходных координат.

Целостность корпорации обусловлена наличием внутрисистемных взаимодействий между предприятиями, которые подчиняются следующим уравнениям связи:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_i(k) &= \sum_{j=1}^N \mathbf{F}_{ij} \mathbf{y}_j(k) + \mathbf{K}_i \mathbf{g}(k); \quad i = 1, 2, \dots, N; \\ \mathbf{y}(k) &= \sum_{i=1}^N \mathbf{L}_i \mathbf{y}_i(k), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\mathbf{g}(k)$ — вектор управляющих воздействий со стороны управляющей компании корпорации; $\mathbf{y}(k)$ — вектор обобщенных выходных координат всей корпорации.

Матрицы \mathbf{K}_i , \mathbf{L}_i характеризуют взаимосвязь i -го предприятия с управляющей компанией корпорации. Матрицы \mathbf{F}_{ij} описывают связи между предприятиями в составе корпорации.

Объединяя уравнения (1) и (2), сформируем модель корпорации в следующем виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{A} \mathbf{x}(k) + \mathbf{B} \mathbf{g}(k); \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{C} \mathbf{x}(k), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\mathbf{x}(k)$ — прямая сумма векторов $\mathbf{x}_i(k)$; $\mathbf{A} = \mathbf{A}_D + \mathbf{B}_D \mathbf{F} \mathbf{C}$; $\mathbf{B} = \mathbf{B}_D \mathbf{K}$; $\mathbf{C} = \mathbf{L} \mathbf{C}_D$; здесь $\mathbf{A}_D = \text{block diag} \{ \mathbf{A}_i \}_{N \times N}$; $\mathbf{B}_D = \text{block diag} \{ \mathbf{B}_i \}_{N \times N}$; $\mathbf{C}_D = \text{block diag} \{ \mathbf{C}_i \}_{N \times N}$; $\mathbf{F} = \| \mathbf{F}_{ij} \|_{N \times N}$; $\mathbf{K} = \| \mathbf{K}_i \|_{N \times 1}$; $\mathbf{L} = \| \mathbf{L}_i \|_{1 \times N}$ — блочные матрицы.

Параметры приведенной модели должны отражать нетривиальность связей управленческих решений с переменными состояния, а последних — с выходными переменными корпорации.

В первую очередь это касается требований к полноте и достоверности исходных данных, а также корректности первичной обработки этих данных в целях получения адекватных аналитических зависимостей. Для этого рассмотрим процедуру идентификации параметров ЭММ КО на основе показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятий, представленных соответствующими временными рядами.

Алгоритм идентификации параметров ЭММ с использованием дискретных ортогональных функций

Под идентификацией обычно понимают определение параметров объекта управления по результатам измерений его входных и выходных сигналов [2]. В настоящее время известно значительное количество разнообразных алгоритмов идентификации. Многочисленность и разнообразие настраиваемых моделей, критериев и алгоритмов, естественно, затрудняет решение конкретных задач идентификации. Это обстоятельство вызвало к жизни специальные работы по экспериментальному исследованию и сравнению алгоритмов идентификации для типовых задач. К сожалению, результаты этих работ, кроме констатации отдельных фактов, не позволяют установить какие-либо общие закономерности за исключением той, что задача идентификации является обратной по отношению к задаче управления и как любая обратная задача динамики является некорректной. Одно из наиболее существенных следствий некорректности задач идентификации — возможность получения негрубых решений, когда малая вариация параметров исходных данных приводит к существенному изменению параметров модели. С учетом высокой степени неопределенности исходных данных проблема корректности задачи идентификации приобретает решающее значение. В связи с этим для регуляризации задачи идентификации параметров ЭММ КО воспользуемся методом, основанным на разложении динамических характеристик системы в ортогональные ряды по совокупности экспоненциальных функций [3]. В данном разделе рассматриваются вопросы построения ортогональной системы на основе экспоненциальных функций, исследования алгебраических свойств построенной ортогональной системы и оценки сходимости ортогональных рядов при заданном характере временных рядов для показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятий. Условие равномерной сходимости исследуемых рядов служит базой для построения в дальнейшем корректных алгоритмов идентификации параметров ЭММ КО.

В качестве исходной совокупности функций при построении ортогональной системы выбираем линейно независимые функции экспоненциального вида с кратными вещественными показателями:

$$\psi_i(kT_0) = \exp(-(i-1)\beta kT_0), \quad \beta > 0; \quad i = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

где T_0 — период дискретизации.

Данная совокупность является полной на множестве функций, интегрируемых с квадратом в интервале $[0, +\infty)$. Это свойство следует непосредственно из теоремы Фейера. Кроме того, любая линейная комбинация указанных экспонент представляет собой ограниченную функцию, имеющую монотонный или слабоколебательный характер. Но $\psi_i(kT_0)$, $i = 1, 2, \dots$ не образуют совокупность ортогональных функций. Чтобы получить на их основе множество ортогональных функций, воспользуемся процедурой ортогонализации, причем для расширения множества аппроксимируемых функций осуществим ортогонализацию с весом $h(kT_0) = (1 - \exp(-\alpha T_0)) \exp(-\alpha kT_0)$, $\alpha \geq 0$. Введенная функция веса обладает следующим свойством:

$$\sum_{k=0}^{\infty} h(kT_0) = 1. \quad (5)$$

Ортогональные функции будем искать в следующем виде:

$$\varphi_l(kT_0) = \sum_{i=1}^l \lambda_{li}^* \psi_i(kT_0), \quad l = 1, 2, \dots, \quad (6)$$

где λ_{li}^* — коэффициенты ортогональных многочленов, причем при $l = i$ $\lambda_{li}^* = 1$, а при $l \neq i$ коэффициенты λ_{li}^* определяются из условия ортогональности функций $\varphi_l(kT_0)$

$$\lambda_{r+1; i}^* = \frac{- \sum_{j=i+1}^{r+1} \lambda_{r+1, j}^* \sum_{m=1}^i \lambda_{i, m}^*}{\left(1 - \exp(-(\alpha + (j+m-2)\beta)T_0)\right)} \quad (7)$$

$$\frac{\sum_{m=1}^i \lambda_{i, m}^*}{\left(1 - \exp(-(\alpha + (i+m-2)\beta)T_0)\right)},$$

$i = r, r-1, \dots, 1; r = 1, 2, \dots$

Докажем свойство равномерной сходимости ортогональных рядов, построенных на базе ортогональных функций (6). Для доказательства данного утверждения воспользуемся непрерывными огибающими соответствующих дискретных функций: аппроксимируемых $f(t) \leftrightarrow f(kT_0)$ и аппроксимирующих ортогональных функций. Кроме

того, для удобства последующего изложения осуществим замену переменной $z = \exp(-\beta t)$. В результате получаем семейство ортогональных полиномов

$$P_l(z) = \sum_{k=1}^l \lambda_{ik} z^{k-1} \quad (8)$$

с функцией веса $q(z) = z^\sigma$, где $\sigma = (\alpha - \beta)/\beta$. Этот ряд сходится к заданной функции $F(z)$ в некоторой точке $z \in [0; 1]$, если вспомогательная функция $\Phi(z, y) = (F(z) - F(y))/(z - y)$ имеет в этой точке r непрерывных производных по z и $\Phi_z^{(r)}(z, y)$ удовлетворяет условию Липшица порядка $0 < \gamma \leq 1$, причем $r + y > \max\{0,5; \sigma + 0,5\}$. В самом деле, как показано в работе [4]:

$$F(z) - \sum_{l=1}^q a_l P_l(z) = v_q [a_q (\Phi(z, y)) P_{q+1}(z) - a_{q+1} (\Phi(z, y)) P_q(z)],$$

где $v_q = \frac{(q(\sigma+q)\sqrt{\sigma+2q-1})}{((\sigma+2q-1)(\sigma+2q)\sqrt{\sigma+2q+1})}$ — отношение

коэффициентов при старших степенях z полиномов $P_{q+1}(z)$ и $P_q(z)$; $a_q(\Phi(z, y))$ — коэффициенты разложения в ряд Фурье по переменной y функции $\Phi(z, y)$.

В силу выдвинутых предположений о свойствах функции $\Phi(z, y)$ скорость убывания коэффициентов $a_q(\Phi(z, y))$ подчиняется условию $a_q(\Phi(z, y)) < C_0/q^{l+\sigma}$, где C_0 — постоянная, не зависящая от q . Покажем также, что максимум абсолютного значения полинома $P_{l+1}(z)$ на интервале $[0; 1]$ достигается на одном из концов этого интервала. Для этого рассмотрим вспомогательную функцию

$$V(z) = \frac{(P_{l+1}(z))^2 + z(1-z)(P'_{l+1}(z))^2}{l(\sigma+l+1)}.$$

Вычислим производную этой функции

$$V'(z) = \frac{P'_{l+1}(z)}{l(\sigma+l+1)} [2l(\sigma+l+1)P_{l+1}(z) + (1-2z)P'_{l+1}(z) + z(1-z)P''_{l+1}(z)].$$

Поскольку весовая функция ортогональных полиномов (6) удовлетворяет дифференциальному уравнению Пирсона [4], то для этих полиномов справедливо соотношение

$$(z-z^2)P''_{l+1}(z) + [(\sigma+1) - (\sigma+2)z]P'_{l+1}(z) + l(\sigma+l+1)P_{l+1}(z) = 0.$$

Тем самым производную $V'(z)$ можно представить следующим образом:

$$V'(z) = \frac{P'_{l+1}(z)}{l(\sigma+l+1)} \times [(1-2z)P'_{l+1}(z) - ((\sigma+1) - 2(\sigma+2)z)P'_{l+1}(z)] = \frac{(P'_{l+1}(z))^2 (2\sigma+2)[z-\chi]}{l(\sigma+l+1)},$$

где $\chi = (2\sigma+1)/(2\sigma+2)$.

Производная $V'(z)$ меняет знак на интервале $[0; 1]$, если $0 \leq \chi \leq 1$. Эти неравенства выполняются при $\sigma \geq -0,5$, если $2\sigma+2 > 0$, и при $\sigma \leq -1$, если $2\sigma+2 < 0$. Случай $\sigma \leq -1$ соответствует отрицательным значениям одной из величин α или β и поэтому в дальнейшем рассматриваться не будет. Следовательно, при $\sigma \geq -0,5$ и $z \leq \chi$ производная $V'(z)$ принимает неположительные значения, т. е. в этом диапазоне значений z функция $V(z)$ не возрастает. Аналогично при $\sigma \geq -0,5$ и $z \geq \chi$ производная $V'(z)$ принимает неотрицательные значения и $V(z)$ не убывает.

Таким образом, $V(0) \geq V(z)$ при $z \in [0; \chi]$; $V(1) \geq V(z)$ при $z \in [\chi; 1]$. Поскольку $P_{l+1}^2(z) \leq V(z)$ и, кроме того, $P_{l+1}^2(0) = V(0)$, $P_{l+1}^2(1) = V(1)$, получаем $|P_{l+1}(z)| \leq |P_{l+1}(0)|$ при $z \in [0; \chi]$; $|P_{l+1}(z)| \leq |P_{l+1}(1)|$ при $z \in [\chi; 1]$.

Рассмотрим далее случай, когда $\chi > 1$ или $\chi < 0$. Первое неравенство соответствует условию $\sigma < -1$, второе выполняется при $-1 < \sigma \leq -0,5$. Значит, при выполнении последних неравенств функция $V(z)$ не убывает на всем интервале $z \in [0; 1]$ и, следовательно, $|P_{l+1}(z)| \leq |P_{l+1}(1)|$.

Вычислим теперь значения рассматриваемых ортогональных полиномов на концах интервала ортогональности. Для этого воспользуемся формулой Лейбница

$$P_{l+1}(z) = \frac{(-1)^l \sqrt{\sigma+2l+1}}{l!} \times z^{-\sigma} [z^{\sigma+1} (1-z)^l]^{(l)} = \frac{(-1)^l \sqrt{\sigma+2l+1}}{l!} \times \sum_{k=0}^l C_l^k z^{-\sigma} (z^{\sigma+1})^{(k)} ((1-z)^l)^{(l-k)} = \frac{(-1)^l \sqrt{\sigma+2l+1}}{l!} \times \sum_{k=0}^l \frac{(-1)^{l-k} l! \Gamma(\sigma+l+1) \Gamma(l+1)}{k! (l-k)! \Gamma(\sigma+l-k+1) \Gamma(k+1)} z^{l-k} (1-z)^k.$$

Следовательно:

$$P_{l+1}(0) = \frac{(-1)^l \sqrt{\sigma+2l+1} \Gamma(\sigma+l+1)}{l! \Gamma(\sigma+1)};$$

$$P_{l+1}(1) = \sqrt{2\sigma+l+1} \text{ или}$$

$$|P_{q+1}(z)| \leq \sqrt{\sigma+2q+1} \leq \frac{\sqrt{\sigma+2q+1} \Gamma(\sigma+q+1)}{q! \Gamma(\sigma+1)}$$

при $\sigma \geq 0$;

$$|P_{q+1}(z)| \leq \frac{\sqrt{\sigma+2q+1}\Gamma(\sigma+q+1)}{q!\Gamma(\sigma+1)} \leq \sqrt{\sigma+2q+1}$$

при $\sigma \geq 0; z \in [0; 1]$.

Используя свойства гамма-функции при $q \rightarrow \infty$

$$\frac{\Gamma(\sigma+q+1)}{q!} = \frac{\Gamma(\sigma+q+1)}{\Gamma(q+1)} \leq (q+1)^\sigma,$$

получаем при $\sigma \geq 0$

$$\begin{aligned} \lim_{q \rightarrow \infty} v_q a_q (\Phi(z, y)) P_{q+1}(z) = \\ = \lim_{q \rightarrow \infty} (q(\sigma+q)\sqrt{\sigma+2q-1}C_0\sqrt{\sigma+2q+1}(q+1)^\sigma) / \\ / ((\sigma+2q-1)(\sigma+2q)\sqrt{\sigma+2q+1}q^{r+\sigma}\Gamma(\sigma+1)) = 0, \end{aligned}$$

если $r + \gamma > \sigma + 0,5$;

аналогично при $\sigma \leq 0$

$$\begin{aligned} \lim_{q \rightarrow \infty} v_q a_q (\Phi(z, y)) P_{q+1}(z) = \\ = \lim_{q \rightarrow \infty} (q(\sigma+q)\sqrt{\sigma+2q-1}C_0\sqrt{\sigma+2q+1}) / \\ / ((\sigma+2q-1)(\sigma+2q)\sqrt{\sigma+2q+1}q^{r+\sigma}) = 0, \end{aligned}$$

если $r + \gamma > 0,5$.

Этим завершается доказательство утверждения о равномерной сходимости рядов.

При расчете параметров ЭММ (1) предприятий корпорации воспользуемся методом площадей, который характеризуется высокой точностью и устойчивостью по отношению к погрешностям вычислений. Суть этого метода сводится к следующему. На основе показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятий, представленных соответствующими временными рядами $y_i(k)$ ($i = 1, 2, \dots, N$), формируем суммы, эквивалентные площадям, ограниченным этими кривыми. Эти площади на некотором интервале наблюдения $0 \leq k \leq n$ могут быть приближенно вычислены по методу трапеции

$$S_i^{[0,n]} = \left[\frac{y_i(0) + y_i(n)}{2} + \sum_{k=1}^{n-1} y_i(k) \right] T_0. \quad (9)$$

С другой стороны, эти площади могут быть получены на основе аппроксимации показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятий временными рядами по совокупности ортогональных функций (6)

$$y_i(k) = \sum_{l=1}^q Q_l^{(i)} \varphi_l(kT_0), \quad (10)$$

где $Q_l^{(i)}$ — векторы ортогональных коэффициентов; q — число членов ортогонального ряда.

Тогда

$$\begin{aligned} \hat{S}_i^{[0,n]} &= \sum_{l=1}^q Q_l^{(i)} \left[\frac{\varphi_l(0) + \varphi_l(nT_0)}{2} + \sum_{k=1}^{n-1} \varphi_l(kT_0) \right] T_0 = \\ &= \sum_{l=1}^q \sum_{r=1}^q Q_l^{(i)} \lambda_{lr} \left[\frac{\psi_r(0) + \psi_r(nT_0)}{2} + \sum_{k=1}^{n-1} \psi_r(kT_0) \right] T_0 = \\ &= \sum_{l=1}^q \sum_{r=1}^q Q_l^{(i)} \lambda_{lr} \Theta_r^n T_0, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\Theta_r^n = \frac{(1 + \exp(-(r-1)\beta T_0))}{2(1 - \exp(-(r-1)\beta T_0))} (1 - \exp(-(r-1)\beta nT_0))$$

при $r \neq 1$

и

$$\Theta_r^n = n \text{ при } r = 1.$$

Чтобы установить взаимосвязь ортогональных коэффициентов в (10) с искомыми параметрами ЭММ предприятий (1), представим оставшиеся переменные величины этих моделей соответствующими ортогональными рядами

$$x_i(k) = \sum_{l=1}^q g_{il} \varphi_l(kT_0); \quad x_i(k+1) = \sum_{l=1}^q g_{il}^* \varphi_l(kT_0);$$

$$u_i(kT_0) = \sum_{l=1}^q g_{il} \varphi_l(kT_0) \quad (12)$$

или в матричной форме

$$\begin{aligned} x_i(k) &= G_i \Phi(kT_0); \quad x_i(k+1) = G_i^* \Phi(kT_0); \\ u_i(kT_0) &= \Xi_i \Phi(kT_0). \end{aligned} \quad (13)$$

Введя новое обозначение

$$\gamma_{ij} = \sum_{k=0}^{\infty} x_i(k) e^{-(\alpha+\beta(j-1))kT_0},$$

ортогональные коэффициенты в (12) можно переписать следующим образом:

$$\begin{aligned} g_{il} &= \sum_{j=1}^l h_0 \lambda_{lj} \gamma_{ij}; \\ g_{il}^* &= \sum_{j=1}^l h_0 \lambda_{lj} e^{(\alpha+\beta(j-1))T_0} (\gamma_{ij} - x_i(0)), \end{aligned} \quad (14)$$

где $h_0 = 1 - e^{-\alpha T_0}$.

В матричной форме записи (14) принимают вид

$$G_i = h_0 \Gamma_i \Lambda^T; \quad G_i^* = h_0 (\Gamma_i - F_{i0}) \Pi \Lambda^T, \quad (15)$$

где $\Gamma = \|\gamma_{ij}\|_{p_i \times q}$; $\Lambda = \|\lambda_{lj}\|_{q \times q}$; $\Pi = \text{diag} \left\{ e^{\alpha T_0}; e^{(\alpha+\beta)T_0}; \dots; e^{(\alpha+(q-1)\beta)T_0} \right\}$; $F = \|F_{0ij}\|_{p_i \times q}$; $F_{0ij} = x_i(0)$, $i = 1, 2, \dots, p_i$, $j = 1, 2, \dots, q$, $p_i = \dim x_i(k)$.

Тогда (13) с учетом (15) принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i(k) &= h_0 \Gamma_i \Lambda^T \Phi(kT_0); \\ \mathbf{x}_i(k+1) &= h_0 (\Gamma_i - \mathbf{F}_{i0}) \Pi \Lambda^T \Phi(kT_0); \\ \mathbf{u}_i(k) &= \Xi_i \Phi(kT_0). \end{aligned}$$

Подставляя эти выражения в исходные ЭММ (1) и приравнявая коэффициенты при одинаковых ортогональных функциях $\Phi(kT_0)$, получаем матричное уравнение относительно вспомогательной матрицы Γ_i

$$h_0 (\Gamma_i - \mathbf{F}_{i0}) \Pi \Lambda^T = \mathbf{A}_i h_0 \Gamma_i \Lambda^T + \mathbf{B}_i \Xi_i. \quad (16)$$

Аналитическое решение этой системы относительно прямой суммы строк матрицы Γ_i имеет вид

$$\begin{aligned} \tilde{\Gamma}_i &= \left\{ \left[\mathbf{I}_{p_i} \otimes (h_0 \Pi \Lambda^T)^T \right] - \right. \\ &\quad \left. - (\mathbf{I}_{p_i} \otimes \Lambda)(h_0 \mathbf{A}_i \otimes \mathbf{I}_q) \right\}^{-1} \tilde{\Omega}_i. \end{aligned} \quad (17)$$

Здесь $\tilde{\Omega}_i = h_0 \mathbf{F}_{i0} \Pi \Lambda^T + \mathbf{B}_i \Xi_i$; \mathbf{I}_{p_i} , \mathbf{I}_q — единичные матрицы соответствующих размерностей; \otimes — матрица (кронекерово) произведение матриц.

В результате для (11) будет справедливым равенство

$$\hat{\mathbf{S}}_i^{[0, n]} = \mathbf{Q}_i \Lambda \Theta_n T, \quad (18)$$

где $\mathbf{Q}_i = h_0 \mathbf{C}_i \Gamma_i \Lambda^T$; $\Theta_n = \left\| \Theta_r^n \right\|_{q \times 1}$.

Используя отчетные показатели, характеризующие финансово-экономическую деятельность предприятий, входящих в исследуемую корпорацию, сформируем матрицы $\mathbf{S}_i^{[T]} = \left\| \mathbf{S}_i^{[0, n_1]}; \mathbf{S}_i^{[0, n_2]}; \dots; \mathbf{S}_i^{[0, n_s]} \right\|_{1 \times s}$ и матрицу $\Theta^{[T]} = \left\| \Theta_{n_1}; \Theta_{n_2}; \dots; \Theta_{n_s} \right\|_{1 \times s}$,

получаем систему нелинейных алгебраических уравнений относительно искомым параметров \mathbf{A}_i , \mathbf{B}_i , \mathbf{C}_i

$$\mathbf{Q}_i \Lambda \Theta^{[T]} T_0 = \mathbf{S}_i^{[T]}. \quad (19)$$

Решение этой системы завершает процедуру идентификации параметров ЭММ.

Программная реализация процедуры построения ЭММ КО

Изложенные принципы и алгоритмы построения ЭММ КО были реализованы в виде программной системы (рис. 1). В структуре программной системы можно выделить два основных блока: интерфейсный и аналитический. Интерфейсный

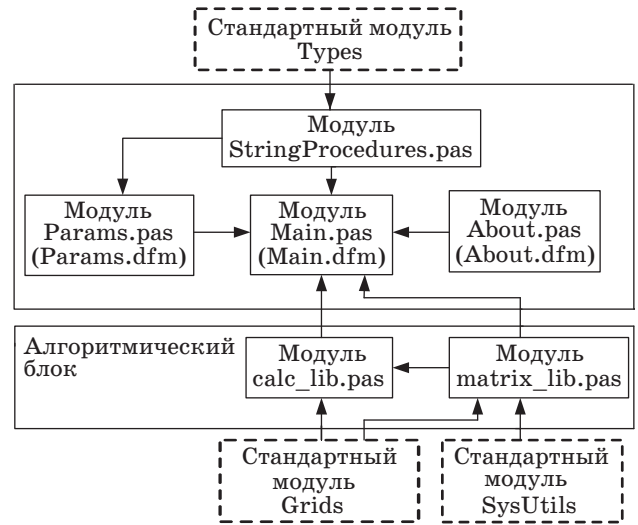


Рис. 1. Структура программной системы

блок обеспечивает взаимодействие пользователя с программой, а также взаимодействие между основными органами управления и элементами алгоритмического блока.

Интерфейсный блок включает модули *Main.pas*, *Params.pas* и *About.pas*, которые представляют собой программные части описания оконных форм, а также модуль *StringProcedures.pas*, который является вспомогательной библиотекой, содержащей функции работы со строками.

Модуль *Main.pas* является модулем главной оконной формы. В его задачи входит реализация диалогового режима. Как следует из рис. 2, для организации диалогового режима используются следующие органы управления: область ввода данных статистической отчетности 1, области вывода текущего состояния матриц **A**, **B** и **C** — 2, 3 и 4 соответственно, индикаторы состояния этих матриц 5, 6 и 7, строка меню 8, строка вывода информации о текущем этапе идентификации 9, ли-

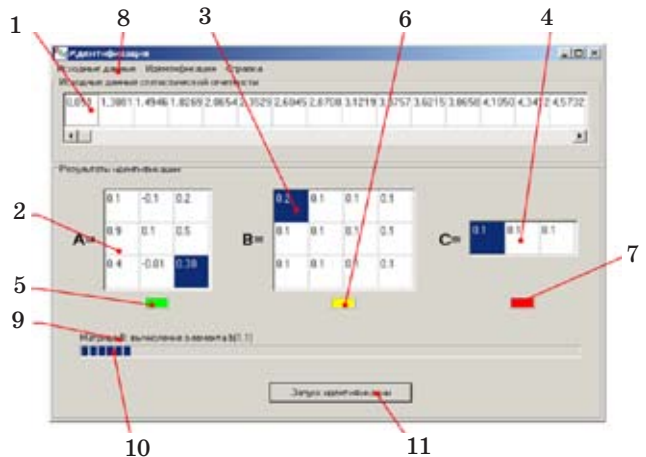


Рис. 2. Внешний вид основной формы программы

нейка отображения прогресса выполнения алгоритма идентификации 10, кнопка запуска алгоритма идентификации 11.

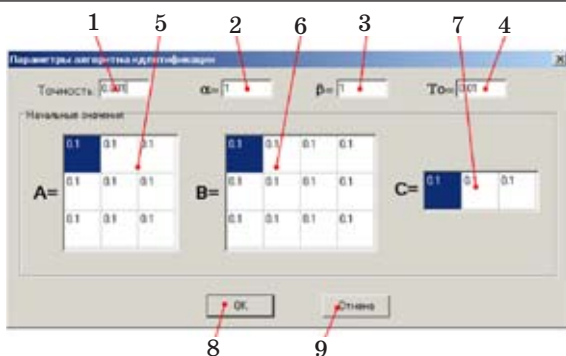
Область 1 позволяет осуществлять ввод данных статистической отчетности как вручную, так и из файла (используя пункт меню «Исходные данные»/«Загрузить»). При этом предполагается, что формат файла представляет собой числа, разделенные разрывами строки.

Строка меню 8 содержит основные команды, необходимые для работы с программой: очистка области ввода отчетности, заполнение области ввода данными из файла, вызов окна задания параметров идентификации, запуск процедуры идентификации, вызов окна сведений о программе.

Кнопка запуска идентификации 11 инициирует вычислительный процесс, в результате завершения которого находятся искомые матрицы. После завершения работы алгоритма идентификации над кнопкой 11 появляется опция «Скопировать результаты в буфер обмена». Ее функция — дать возможность пользователю перенести результаты идентификации в другие приложения (MathCAD, MatLab, Microsoft Excel и др.).

Params.pas является модулем оконной формы, предназначенной для задания параметров идентификации (рис. 3). В качестве параметров используются: начальные значения элементов матриц **A**, **B** и **C**; величины, необходимые для построения ортогонального ряда (α , β и T_0); необходимая точность идентификации матриц модели. Для задания этих параметров используются следующие окна органов управления: область ввода требуемой точности вычисления искомых параметров модели 1; области ввода величин, необходимых для генерации ортогонального ряда 2–4; области ввода начальных значений элементов матриц **A**, **B** или **C** 5–7; кнопка подтверждения выполненных изменений 8; кнопка отказа от выполненных изменений 9.

В основе всех вычислений, реализуемых в модулях алгоритмического блока, лежат матричные операции, включая операции кронекерова



■ Рис. 3. Внешний вид формы задания параметров алгоритма идентификации

умножения и прямого суммирования строк и столбцов. В связи с этим был разработан специальный модуль (*matrix_lib.pas*). Этот модуль позволяет создавать матрицы произвольных размерностей и выполнять над ними соответствующие операции.

Для иллюстрации предложенного подхода построим экономико-математическую модель корпоративного объединения ОАО «Концерн «Авионика».

Разрабатываемая ЭММ основывается на данных о хозяйственной деятельности дочерних предприятий ОАО «Концерн «Авионика» (ОАО «Раменский приборостроительный завод», ОАО НПК «Элара», ОАО «Техприбор»), предоставленных в годовых отчетах указанной корпорации за 2005–2009 гг. [5].

Исходя из имеющихся данных, выбираем в качестве переменных состояния следующие показатели: выручка от продаж $x_{i1}(k)$, чистая прибыль $x_{i2}(k)$ и рентабельность продаж $x_{i3}(k)$. В качестве управляющих воздействий выбираем объем инвестиций, привлеченных менеджментом соответствующего предприятия корпорации. Поскольку данные о фактическом объеме этих средств отсутствуют, то в процедуре идентификации будем использовать стандартное единичное управляющее воздействие. При этом фактический эффект от такого управляющего воздействия на результаты хозяйственной деятельности обществ будет выражаться в численных значениях матриц **B_i**. Наконец, в качестве выходных координат выбираем: $y_{i1}(k) = x_{i1}(k)$ — выручку от продаж, $y_{i2}(k) = x_{i2}(k)$ — рентабельность продаж. В результате уравнения наблюдения для каждой компании будут иметь одинаковый вид

$$\begin{bmatrix} y_{i1}(k) \\ y_{i2}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i1}(k) \\ x_{i2}(k) \\ x_{i3}(k) \end{bmatrix}$$

Используя показатели производственно-хозяйственной деятельности предприятий за 2005–2008 гг., получим следующие численные значения матриц **A_i** и **B_i** для соответствующих предприятий.

ОАО «РПЗ»:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1,2554 & 8,4893 & -38,7326 \\ -0,1042 & -2,2985 & 20,6501 \\ 0,0014 & 0,0167 & 0,7269 \end{bmatrix}; B_1 = \begin{bmatrix} -602,34 \\ 149,68 \\ -1,41 \end{bmatrix};$$

ОАО НПК «Элара»:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0,8313 & -4,8887 & 170,5398 \\ -4,5103 & 22,3662 & 1040,1542 \\ 0,1027 & -0,5139 & -22,0718 \end{bmatrix}; B_2 = \begin{bmatrix} -629,36 \\ 151,73 \\ -7,04 \end{bmatrix};$$

■ Таблица 1. Результаты хозяйственной деятельности обществ ОАО «Концерн «Авионика»

Наименование ОАО	Выручка от продаж, млн руб.				
	2005	2006	2007	2008	2009
РПЗ	1344,5	1578,4	1899,2	1929,3	1849,5
Элара	1529,3	2299,2	3218,3	3240,5	2710,7
Техприбор	774,8	1084,0	1252,5	1258,9	1111,9
	Чистая прибыль, млн руб.				
РПЗ	63,3	59,2	11,2	69,5	68,5
Элара	13,0	50,1	215,8	192,5	153,1
Техприбор	101,3	124,1	397,4	130,5	129,7
	Рентабельность продаж, %				
РПЗ	16,7	15,1	14,2	13,2	12,1
Элара	6,4	9,1	9,5	9,9	9,0
Техприбор	18,7	15,8	15,4	15,8	17,3

ОАО «Техприбор»:

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0,8240 & -0,4462 & 26,2441 \\ 0,8166 & -1,5079 & -19,0297 \\ 0,0048 & -0,0006 & 0,6480 \end{bmatrix}; B_3 = \begin{bmatrix} -332,17 \\ -389,43 \\ -1,13 \end{bmatrix}.$$

Для проверки эффективности предложенной процедуры идентификации рассчитаем с помощью полученных моделей показатели производственно-хозяйственной деятельности предприятий для 2009 г.:

$$x_1(2009) = \begin{bmatrix} 1898,44 \\ 61,48 \\ 12,05 \end{bmatrix}; x_2(2009) = \begin{bmatrix} 2811,74 \\ 139,14 \\ 8,32 \end{bmatrix};$$

$$x_3(2009) = \begin{bmatrix} 1061,59 \\ 141,14 \\ 15,07 \end{bmatrix}.$$

Сопоставляя полученные значения с данными, приведенными в табл. 1, делаем вывод о том, что погрешность не превышает 13 %.

Выберем в качестве обобщенной выходной координаты всей корпорации «Концерн «Авионика» ее рентабельность, тогда можно сформировать модель этой корпорации в виде (3). Параметры полученной таким образом модели сведены в табл. 2.

Заключение

Рассмотрен важный аспект использования информационных технологий при решении задачи анализа и прогнозирования организационно-экономического состояния корпоративных объединений, связанный с разработкой ЭММ крупных производственных корпораций. С помощью таких моделей можно объективно оценить эффективность принимаемых управленческих решений в долгосрочной перспективе, провести анализ взаимодействия отдельных структурных подразделений в процессе реализации принятых управленческих решений и своевременно скорректировать стратегию развития предприятия. При этом предлагается использовать специальный аппарат идентификации параметров модели на основе ортогональных рядов экспоненциального вида. Данный подход обеспечивает равномерную сходимость при аппроксимации любых

■ Таблица 2. Параметры экономико-математической модели корпорации ОАО «Концерн «Авионика»

Параметры матрицы А								
2380,50	8,49	-38,73	2590,06	0	0	2041,93	0	0
-591,34	-2,30	20,65	-643,62	0	0	-507,42	0	0
5,57	0,02	0,73	6,06	0	0	4,78	0	0
2485,97	0	0	2707,08	-4,89	170,54	2133,53	0	0
-599,33	0	0	-656,95	22,37	1040,15	-514,36	0	0
27,81	0	0	30,37	-0,51	-22,07	23,87	0	0
1312,07	0	0	1428,33	0	0	1126,88	-0,45	26,25
1538,25	0	0	1674,55	0	0	1320,98	-1,51	-19,03
-4,46	0	0	-4,86	0	0	-3,83	-0,0006	0,65
Параметры матрицы В								
-602,34	149,68	-1,41	-629,36	151,73	-7,04	-332,17	-389,43	1,13
Параметры матрицы С								
3,95	0	0	4,3	0	0	3,39	0	0

кусочно-гладких функций, что регулирует процедуру идентификации. Последнее обстоятельство особенно важно в условиях неполноты и неточности исходной информации, используемой при построении ЭММ.

Разработанная методика построения ЭММ КО реализована в виде программной системы в среде

визуального программирования Delphi 6. Приведенный пример построения ЭММ корпорации «Концерн «Авионика» свидетельствует о высокой степени адекватности результатов расчетов фактическим данным, содержащимся в отчетных показателях производственно-хозяйственной деятельности предприятий корпорации.

Литература

1. Бодрунов С. Д. и др. Проблемы, принципы и методы корпоратизации авиапромышленного комплекса России. — СПб.: Корпорация «Аэрокосмическое оборудование», 2000. — 432 с.
2. Цыпкин Я. З. Основы информационной теории идентификации. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. — 320 с.
3. Ефанов В. Н., Неретина В. В. Регуляризация процедуры синтеза субоптимального управления полетом с использованием ортогонального базиса экс-

поненциального вида // Мехатроника. 2001. № 6. С. 10–15.

4. Суетин П. Н. Классические ортогональные многочлены. — М.: Наука, 1979. — 416 с.
5. Годовой отчет за 2009 год ОАО «Концерн «Авионика». <http://www.e-disclosure.ru/portal/FileLoad.aspx?Fileid=30540&type=file> (дата обращения: 04.08.2010).

Уважаемые коллеги!

Выставочный центр «Казанская ярмарка» приглашает Вас принять участие
в VI международной специализированной выставке
«АВИАКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ» — КАЗАНЬ-2012
14—17 августа 2012 года

Организаторы

Кабинет министров Республики Татарстан
Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан

Экспозиция выставки

Новое в организации выпуска современной авиационной техники
Новые сплавы, материалы и технологии их обработки
Современные средства управления летательными аппаратами
Оборудование для использования в авиакосмических отраслях
Плазменная и магнитноэлектронная техника в системах контроля и индикации
Высокоточное, наукоемкое технологическое оборудование в промышленности
Развитие и применение оптических, металлооптических и электронооптических изделий в системах управления, навигации и технологиях
Оборудование и технологии переработки полимерных материалов, изделия из них
Новое в организации и техническом оснащении сервисного обслуживания авиационной техники в авиакомпаниях

Особенности организации производства и технологии, используемые при квазипоточном выпуске авиационной техники

Охрана труда и техника безопасности

Новое в организации финансового и операционного лизинга, других форм взаимодействия с потребителями продукции

Программа выставки

Научно-практические конференции

Презентации фирм и предприятий участников выставки

Тематические семинары и круглые столы

Экскурсии по историческим местам 1000-летней Казани

Дополнительная информация и справки

420059, Россия, Татарстан, г. Казань, Оренбургский тракт, 8.

ВЦ «Казанская ярмарка».

Тел/факс: +7 (843) 570-51-16.

Горячая линия: +7 (843) 570-51-11.

Эл. адреса: pdv@expokazan.ru,

kazanexpo@telebit.ru

Сайт: <http://www.aktokazan.ru/rus>