

УДК 681.3

Н.Н. Масалитина

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИЗИСНЫХ СОСТОЯНИЙ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ<sup>1</sup>**

*Предлагается модель кризисного состояния промышленного предприятия, отражающая влияние отдельных элементов противостояния кризисным изменениям и преодоления их последствий на уровень антикризисной устойчивости исследуемого объекта. Представляются результаты исследования разработанной модели.*

**Введение**

Принятие решения по управлению предприятием, которое находится под воздействием кризисных изменений, требует применения специального инструментария диагностики состояния управляемого объекта и оптимизации выбора антикризисных мер. Важную роль в такой ситуации играют математические модели, позволяющие в условиях невозможности проведения физического эксперимента выявить причины кризисных изменений и оценить последствия принимаемых управленческих решений. Исследование математической модели кризисного процесса предприятия позволяет снизить риск неблагоприятного изменения ситуации и сократить связанные с ним экономические и социальные последствия.

Для решения перечисленных задач белорусскими и зарубежными авторами разработан ряд многофакторных моделей прогнозирования и диагностики несостоятельности (банкротства) предприятия: Z-счет Э. Альтмана, двухфакторная модель У. Бивера, шестифакторная модель О.П. Зайцевой, рейтинговая модель Р.С. Сайфулина и Г.Г. Кадыкова, модель Г.В. Савицкой, модель А.В. Черновалова и А.А. Шевчука и др. [1–6]. Модели этого класса основаны на линейных функциях зависимости показателей, характеризующих состояние предприятия, от нескольких балансовых коэффициентов. Для определения вероятности банкротства полученный показатель сравнивают с определенными пороговыми значениями, выявляя предприятия с высокой и низкой вероятностью банкротства, а также предприятия, состояние которых нельзя оценить при помощи данной модели (так называемую «серую зону»). Перечисленные модели построены на основе дискриминантного или кластерного анализов либо получены при помощи экспертных оценок.

Принципиально отличный подход к диагностике и предсказанию кризисных ситуаций изложен в работах И. Ансоффа [7], З. Айвазяна и В. Кириченко [8], А.А. Быкова [9], Б.Д. Семенова [10], Г.З. Базарова, С.Г. Беляева, Л.П. Белых [11]. Основной общей идеей этих разработок – выявление некоторых комплексных экономических показателей (величины денежных средств, продуктивности, рыночной стоимости и др.), которые отражают выход предприятия из состояния равновесия. Диагностика состояния предприятия в данном случае выполняется посредством наблюдения величин этих показателей с целью возможно более раннего фиксирования опасной тенденции их изменения.

Вместе с тем модели обоих классов обладают рядом особенностей, ограничивающих возможности их применения в управлении предприятием. Представленные модели разработаны для решения задачи диагностики банкротства предприятия, вследствие чего они малочувствительны к ранним проявлениям кризисного процесса и позволяют выявлять только поздние, слабо поддающиеся управлению стадии кризиса. Многофакторные модели не универсальны относительно отраслевой принадлежности предприятий и особенностей макроэкономической системы, в которой они функционируют (в результате малоприменимы без коренной переработки становятся практически все зарубежные методики); не всегда обоснованными являются

<sup>1</sup> Исследование выполнено при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках НИР «Моделирование систем противостояния кризисным ситуациям субъектов хозяйствования» (БРФФИ ГР20072295).

выбор факторов и оценка их весовых коэффициентов. Комплексные показатели эффективности хозяйственной деятельности не позволяют установить источник кризиса и определить состав управленческих воздействий, способных улучшить состояние предприятия. Кроме того, многие комплексные показатели эффективности хозяйственной деятельности слабо чувствительны к динамике изменения состояния предприятия.

Целью данного исследования является разработка инструментария антикризисного управления, удовлетворяющего следующим требованиям: математическая модель должна позволять исследовать закономерности течения ранних стадий кризисного процесса, при этом разрабатываемый инструмент должен отражать изменения состояния предприятия под воздействием различных механизмов антикризисного управления с целью обеспечения возможности выбора наиболее эффективных антикризисных мер.

### 1. Описание математической модели

Для решения перечисленных задач было проведено исследование закономерностей развития кризисных и антикризисных процессов, имевших место на белорусских и российских промышленных предприятиях в период с 1991 по 2005 г.

Анализ полученной информации позволил выполнить объектную декомпозицию моделируемого явления (кризисного процесса промышленного предприятия), определить взаимосвязи между выделенными объектами, исследовать последовательность углубления кризиса в случае его неконтролируемого развития. В результате была получена модель кризисного состояния промышленного предприятия.

Кризисный процесс может быть описан как взаимодействие управленческих воздействий, механизмов устойчивости, антикризисного управления и деструктивных воздействий (рис. 1).



Рис. 1. Обобщенная схема модели кризисного состояния промышленного предприятия

Под *объектом, подвергающимся кризисным изменениям*, будем понимать промышленное предприятие, деятельность которого в любой момент времени может быть описана совокупностью значений экономических показателей.

*Деструктивное воздействие* – событие, происходящее во внешней и внутренней среде предприятия, слабо поддающееся управлению со стороны подвергающегося воздействию объекта и способное нарушить нормальное течение его хозяйственных процессов.

*Подсистема противостояния кризисным ситуациям и преодоления их последствий* – это совокупность физических объектов и организационных механизмов, направленных на недопущение ухудшения состояния предприятия вследствие деструктивного воздействия и на восстановление нормального течения хозяйственных процессов.

Система противостояния деструктивным воздействиям и преодоления их последствий объединяет подсистемы устойчивости и антикризисного управления. Первая подсистема включает в себя созданные заранее, постоянно действующие или запускаемые в случае необходимости без существенных изменений механизмы противостояния деструктивным воздействиям. Вторая подсистема объединяет механизмы противостояния углублению кризиса и преодоления его последствий, отсутствующие при нормальном функционировании предприятия и создаваемые в случае возникновения деструктивного процесса на предприятии.

Подсистема противостояния кризисным ситуациям и преодоления их последствий подвергается изменениям посредством применения *управленческих воздействий* – целенаправленных действий со стороны управляющего лица, которые приводят к изменению состава элементов, взаимосвязей между ними и особенностей функционирования одной или нескольких подсистем предприятия.

Схожий характер поведения структурных элементов промышленного предприятия под влиянием деструктивных воздействий позволил объединить их в следующие классы: материальный объект, материальный и финансовый потоки [12].

*Материальный объект* – класс объектов, подвергающихся непосредственному деструктивному воздействию. К этому классу отнесены также персонал предприятия и информационные потоки. Основанием для объединения таких разных по природе объектов в один класс является схожесть их роли в кризисном процессе.

*Материальный поток* – направленное движение готовой продукции и ресурсов предприятия.

*Финансовый поток* – направленное движение финансовых ресурсов предприятия.

Структура системы устойчивости и антикризисного управления определяется структурой объекта. Как следствие существует взаимнооднозначное соответствие между их элементами (рис. 2): подсистемы устойчивости и антикризисного управления включают в себя механизмы, действующие на уровне материальных объектов, материальных и финансовых потоков. При этом недостаточно эффективное действие механизмов уровня материальных объектов (например, приемов оптимизации производственной программы) может быть компенсировано действием механизмов уровня материальных потоков (запасом того или иного вида продукции). Недостаточно эффективное действие последних компенсируют механизмы уровня финансовых потоков (например, предусмотренные договором страховые суммы) [12].

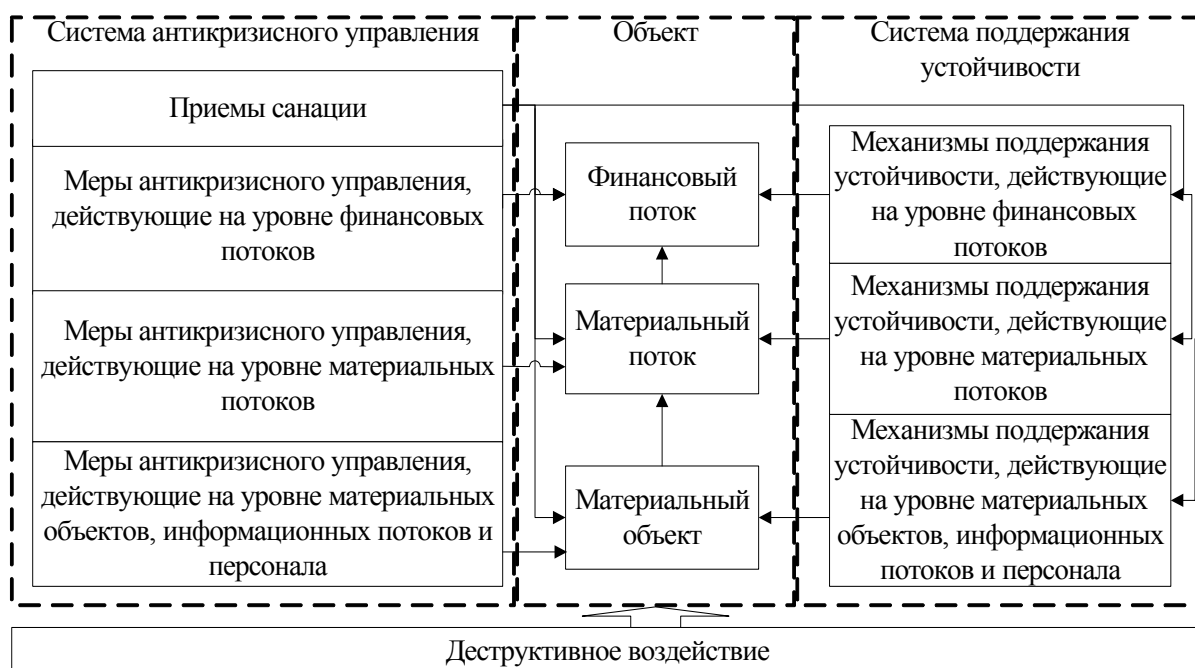


Рис. 2. Структура и взаимосвязи элементов кризисного процесса

Предположим, что состояние предприятия под действием кризисного процесса может быть определено на основе оценки состояния перечисленных элементов и что управление предприятием самостоятельное (без участия судебных органов) и рациональное (преследует цель повышения антикризисной устойчивости и использует для этого все доступные средства). В этом случае модель кризисной ситуации принимает следующий вид:

1. Состояние  $sb$  объекта  $b$  определяется свойством исправности  $I$  его структурных элементов (материальных объектов  $Mb$ , материальных  $Pb$  и финансовых потоков  $Fb$ ) и активности  $D$  механизмов устойчивости и антикризисного управления. Наличие государственного регулирования процессов антикризисного управления предприятием диктует необходимость учитывать при моделировании соответствие предприятия законодательно установленным критериям диагностики экономической несостоятельности  $EN$  [13, 14]. Таким образом, состояние  $sb$  объекта  $b$  в каждый момент может быть описано вектором вида

$$sb = \begin{bmatrix} I(Mb) \\ I(Pb) \\ I(Fb) \\ D(U_{Mb}) \\ D(U_{Pb}) \\ D(U_{Fb}) \\ D(A_{Mb}) \\ D(A_{Pb}) \\ D(A_{Fb}) \\ D(A_{Sb}) \\ EN \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $Mb$  – множество материальных объектов предприятия;  $Pb$  – множество материальных потоков предприятия;  $Fb$  – множество финансовых потоков предприятия;  $U_{Mb}$ ,  $U_{Pb}$ ,  $U_{Fb}$  – множества механизмов устойчивости, действующих на уровне материальных объектов, материальных потоков и финансовых потоков соответственно;  $A_{Mb}$ ,  $A_{Pb}$ ,  $A_{Fb}$  – множества механизмов антикризисного управления, действующих на уровне материальных объектов, материальных потоков и финансовых потоков соответственно;  $A_{Sb}$  – множество механизмов антикризисного управления, воздействующих одновременно на несколько подсистем предприятия;  $I$  – свойство исправности подсистем (материальных объектов, материальных потоков, финансовых потоков) предприятия;  $D$  – свойство активности механизмов устойчивости и антикризисного управления;  $EN$  – соответствие объекта критериям диагностики экономической несостоятельности.

Показатели  $I$  принимают значение 1 в случае, если все элементы соответствующего множества исправны:

$$I(Mb) = 1, \text{ если } \forall mb \in Mb | I(mb) = 1;$$

$$I(Pb) = 1, \text{ если } \forall pb \in Pb | I(pb) = 1;$$

$$I(Fb) = 1, \text{ если } \forall fb \in Fb | I(fb) = 1.$$

Свойство активности принимает значение 1, если хотя бы один элемент множества активен:

$$D(U_{Mb}) = 1, \text{ если } \exists u_{mb} \in U_{Mb} | D(u_{mb}) = 1;$$

$$D(U_{Pb}) = 1, \text{ если } \exists u_{pb} \in U_{Pb} | D(u_{pb}) = 1;$$

$$D(U_{Fb}) = 1, \text{ если } \exists u_{fb} \in U_{Fb} | D(u_{fb}) = 1;$$

$$D(A_{Mb}) = 1, \text{ если } \exists a_{mb} \in A_{Mb} | D(a_{mb}) = 1;$$

$$D(A_{Pb}) = 1, \text{ если } \exists a_{pb} \in A_{Pb} | D(a_{pb}) = 1;$$

$$D(A_{Fb}) = 1, \text{ если } \exists a_{fb} \in A_{Fb} | D(a_{fb}) = 1;$$

$$D(A_{Sb}) = 1, \text{ если } \exists a_{sb} \in A_{Sb} | D(a_{sb}) = 1.$$

Если объект соответствует критериям диагностики экономической несостоятельности,  $EN=1$  [13, 14]. В противном случае перечисленные величины принимают нулевое значение.

2. Движение материальных потоков предприятия  $Pb$  (ритмичность и качество отгрузки продукции, поставка сырья и материалов) определяется состоянием его материальных объектов  $Mb$  (качеством работы персонала, состоянием производственной системы и пр.); следовательно,

$$\text{если } I(Mb) = 1, \text{ то } I(Pb) = 1. \quad (2)$$

Как следствие кризисные изменения, не остановленные на уровне материальных объектов  $Mb$ , распространяются на уровень материальных потоков  $Pb$ , что автоматически приводит к активизации механизмов устойчивости соответствующего уровня  $U_{Pb}$ :

$$\text{если } I(Mb) = 0, \text{ то } D(U_{Pb}) = 1. \quad (3)$$

Аналогичная закономерность существует и в отношении финансовых потоков  $Fb$  и материальных потоков  $Pb$ :

$$\text{если } I(Pb) = 1, \text{ то } I(Fb) = 1; \quad (4)$$

$$\text{если } I(Pb) = 0, \text{ то } D(U_{Fb}) = 1. \quad (5)$$

3. В случае отсутствия деструктивных воздействий на предприятие сохраняется исправность его материальных объектов  $Mb$ , материальных  $Pb$  и финансовых потоков  $Fb$

$$I(Mb) = 1 \wedge I(Pb) = 1 \wedge I(Fb) = 1 \quad (6)$$

без применения антикризисных механизмов

$$\begin{aligned} D(U_{Mb}) = 0 \wedge D(U_{Pb}) = 0 \wedge D(U_{Fb}) = 0 \wedge D(A_{Mb}) = \\ = 0 \wedge D(A_{Pb}) = 0 \wedge D(A_{Fb}) = 0 \wedge D(A_{Sb}) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

4. Если на предприятие оказывается деструктивное воздействие, но исправность какой-либо подсистемы сохранена, т. е.

$$I(x) = 1 \text{ для } x \in X, X = Mb \cup Pb \cup Fb,$$

это достигается либо за счет механизмов устойчивости, и тогда



Представленные в матрице значения получены посредством исключения из множества возможных сочетаний двоичных величин  $I$ ,  $D$  и  $EN$  тех сочетаний, которые противоречат выражениям (2)–(14).

8. Состояние  $sb$  объекта  $b$  меняется под действием деструктивных процессов  $vb$ , механизмов устойчивости  $Ub$  и антикризисного управления  $Ab$ . При этом  $sb$  принимает одно из значений, представленных столбцами матрицы  $Sb$ . Переход между состояниями  $sb$  объекта  $b$  в процессе развития кризиса определяется соотношением интенсивности деструктивных воздействий и эффективности механизмов противостояния им:

$$sb = f(IN_1, IN_2, \dots, IN_n), \quad (16)$$

где  $f$  – некоторая эмпирически определяемая вектор-функция;  $IN_i$  – отношение эффективности действия  $i$ -го элемента системы устойчивости и антикризисного управления предприятия к интенсивности деструктивного воздействия на предприятие, отн. ед.;  $n$  – количество элементов подсистем устойчивости и антикризисного управления.

9. Изменение значения свойства эффективности отдельных элементов множеств механизмов устойчивости и антикризисного управления определяется множеством применяемых управленческих воздействий  $MT$ , направленных на развитие того или иного механизма:

$$IN_i = p(mt), \quad mt \subseteq MT, \quad (17)$$

где  $p$  – однозначное отображение множества управленческих воздействий  $MT$  в числовое множество  $IN_i$ .

## 2. Исследование математической модели

Исследование полученной математической модели кризисной ситуации было направлено на нахождение функции  $f$ , отражающей взаимосвязь между состоянием предприятия и уровнем эффективности отдельных антикризисных механизмов и представленной выражением (16), а также на построение инструментария оптимизации выбора управленческих воздействий, позволяющих изменить состояние объекта управления (выражение (17)).

С целью уменьшения размерности полученной модели были введены следующие ограничения:

1. Состав аргументов  $IN_i$  искомой функции  $f$  ограничен 20 показателями, характеризующими эффективность действия механизмов устойчивости и антикризисного управления, направленных на противодействие наиболее значимым для белорусских промышленных предприятий деструктивным факторам. К числу наиболее значимых кризисных изменений отнесены те факторы, по которым зафиксированы согласованные высокие оценки экспертов по показателям частоты или уровня ущерба либо по обоим показателям (более подробно данный этап исследования описан в [15]). Далее для каждого такого фактора подобраны показатели, отражающие степень эффективности действия противостоящих ему механизмов устойчивости и антикризисного управления. В их число вошли коэффициенты физического и морального износа, выбытия и обновления основных средств, использования оборудования; среднее отношение объема запасов сырья и материалов к объему потребления; просроченная дебиторская задолженность; среднее число поставщиков основных видов сырья, материалов, полуфабрикатов; среднее число покупателей по основным видам продукции; процент экспорта в страны СНГ и дальнего зарубежья в объеме реализации продукции; процент производства рыночных новинок, товаров со стабильным спросом и прибылью, убыточных товаров; отношение запасов готовой продукции к среднемесячному объему реализации; среднеквадратическое отклонение прогнозных показателей от фактических; доля затрат на НИОКР в затратах на производство продукции; процент производства новой продукции; отношение платежей по страхованию к объему затрат на производство продукции; отношение объема страховых и резервных фондов к затратам на производство продукции.

2. Сравнение представленных матрицей  $Sb$  состояний предприятия позволило выделить среди них качественно отличающиеся и требующие принципиального изменения тактики антикризисного управления (перехода от антикризисных мер, сдерживающих отдельные проявления кризиса, к инициативной санации, а затем и к внешнему антикризисному управлению). В результате область значений функции  $f$  была ограничена следующими четырьмя состояниями:

1. *Устойчивое состояние* характеризуется сохранением исправности всех подсистем предприятия, поддерживаемым только на основе механизмов антикризисной устойчивости. Эту ситуацию описывают первый и второй столбец матрицы  $Sb$  ( $sb = Sb^1$  или  $sb = Sb^2$ ). Данное состояние недостижимо при антикризисном управлении, так как предполагает полное отсутствие сбоев, что невозможно в условиях высокого уровня изменчивости внешней среды. Поэтому оно исключено из дальнейшего рассмотрения при решении задачи нахождения функции  $f$ , представленной выражением (16), однако используется как целевое при решении второй задачи (при разработке инструмента оптимизации состава управленческих воздействий).

2. *Квазиустойчивое состояние предприятия* указывает на то, что антикризисные меры временного характера, не предполагающие глубокой санации, и система устойчивости предприятия являются в настоящее время достаточно эффективными для сдерживания кризиса. Это состояние похоже на устойчивое, но отличается от него тем, что механизмы, за счет которых поддерживается внешнее благополучие, не гарантируют долгосрочную устойчивость предприятия. К квазиустойчивым относятся состояния, соответствующие столбцам 3–5 матрицы  $Sb$  ( $sb = Sb^3$ , или  $sb = Sb^4$ , или  $sb = Sb^5$ ). Основной целью антикризисного управления в таком состоянии является предупреждение углубления кризиса, а также развитие механизмов устойчивости, позволяющих заменить действие временных антикризисных мер.

3. *Состояние самостоятельного антикризисного управления* характеризует кризисные ситуации, при которых деструктивное воздействие на предприятие превышает возможности системы временного сдерживания кризиса, но может быть исправлено посредством санации без внешнего вмешательства. Неуправляемое развитие кризисного процесса может привести к истощению ресурсов предприятия и банкротству, однако признаки этого состояния еще не проявились ( $sb = Sb^6$ , или  $sb = S^7$ , или  $sb = Sb^8$ , или  $sb = Sb^9$ ). Целью антикризисного управления в таком состоянии является инициативная санация, направленная на повышение эффективности приемов противостояния деструктивным процессам.

4. *Потенциальное банкротство* возникает при глубоких кризисных изменениях, способных в ближайшее время привести к необходимости внешнего вмешательства в управление, а значит, ограничения хозяйственной самостоятельности исследуемого объекта ( $sb = Sb^{10}$ ). Для успешного восстановления устойчивости в таком состоянии необходимо достижение двух основных целей: экстренного восстановления устойчивости предприятия, по крайней мере, до уровня самостоятельного антикризисного управления с целью получения возможности реализовать инициативную санацию, а также глубокого преобразования хозяйственных процессов, направленного на развитие механизмов противостояния деструктивным изменениям до уровня, позволяющего поддержать устойчивое или квазиустойчивое состояние. Достижение первой цели позволяет увеличить продолжительность временного периода, в течение которого может быть проведена санация предприятия. Мероприятия второй группы направлены на поддержание долгосрочной устойчивости предприятия за счет адаптации хозяйственной системы предприятия к условиям его функционирования (более подробно отличительные особенности антикризисного управления на каждой из стадий кризисного процесса, а также правила их диагностики представлены в [12]).

Таким образом, задача нахождения функции  $f$  сведена к нахождению числовой функции  $Dg(IN_0, IN_1, \dots, IN_{19})$ , область значений которой разделена на три интервала, соответствующие трем качественно отличным состояниям предприятия (диагнозам): *квазиустойчивое состояние*, *состояние самостоятельного антикризисного управления*, *потенциальное банкротство*. В результате решения данной задачи построена искусственная нейронная сеть (рис. 3). Подписи дуг графа отражают вес соответствующего синапса, подписи вершин графа – смещение соответствующего нейрона или входа.



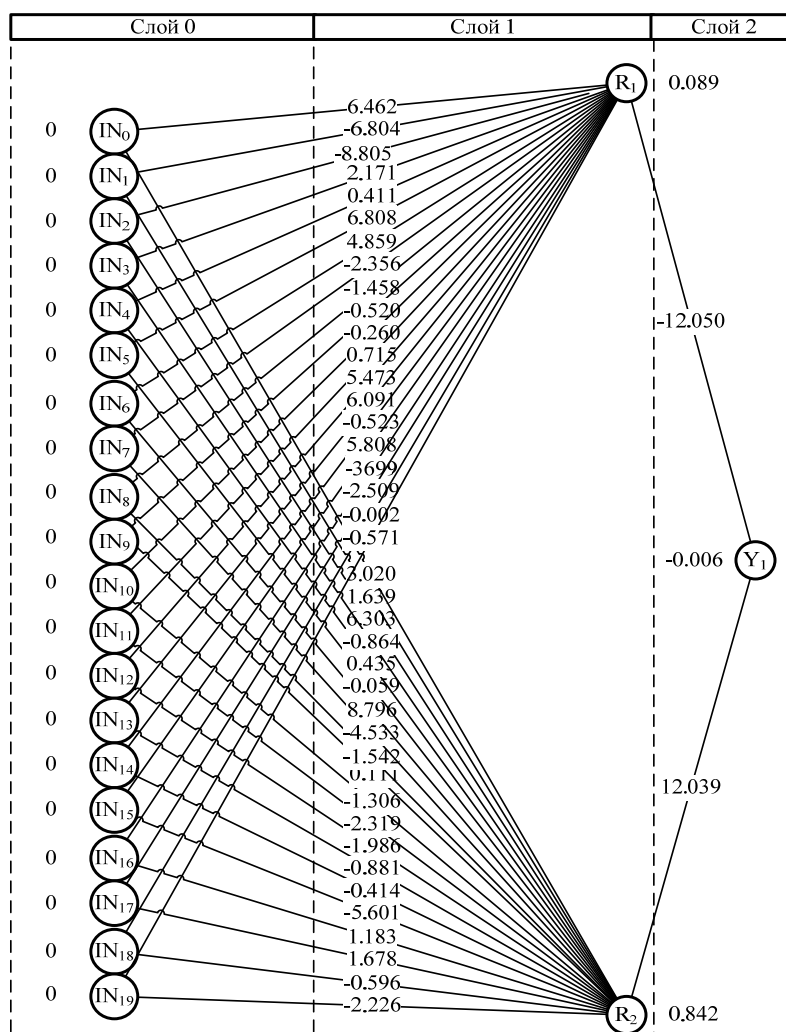


Рис. 3. Граф искусственной нейронной сети

В скрытый слой включены два нейрона: первый учитывает признаки, соответствующие улучшению состояния предприятия, второй отражает углубление кризиса. Выходной слой представлен одним нейроном и соответствует диагнозу предприятия.

Обучение нейронной сети проведено на основе выборочной совокупности, содержащей данные по 55 предприятиям, которые обладают различным уровнем устойчивости к кризисным изменениям (квазиустойчивые, находящиеся в состоянии самостоятельного антикризисного управления и потенциального банкротства). Процентное соотношение числа предприятий каждой группы соответствует структуре промышленности Республики Беларусь в отношении указанных характеристик.

В состав обучающего множества случайным образом отбирались 91 % эталонов, в тестовое – 9 %. При помощи алгоритма обратного распространения ошибки и эластичного распространения ошибки построены 23 нейронные сети, отличающиеся видом используемой активационной функции (сигмоид, гипертангенс, арктангенс, логарифмическая, пороговая) и параметрами обучения.

В результате оценки степени точности полученных нейронных сетей на основе анализа таблиц сопряженности, отражающих степень совпадения фактических и поставленных в процессе обучения и тестирования нейронных сетей диагнозов, отобрана наиболее точная нейронная сеть:

$$Dg = \frac{1}{1 + e^{-Y_1}}; \quad (18)$$

$$Y_1 = -12,05040 \frac{1}{1 + e^{-R_1}} + 12,03892 \frac{1}{1 + e^{-R_2}} - 0,00571,$$

где  $Dg$  – показатель, определяющий состояние предприятия, отн. ед.;  $R_1$  и  $R_2$  – реакция нейронов 1 и 2, являющаяся линейной функцией от реакции входов  $IN_i$ .

Активационной функцией данной сети является сигмоид с параметром, равным 1. При ее обучении используется алгоритм обратного распространения ошибки.

Полученная искусственная нейронная сеть отражает зависимость между состоянием системы антикризисного управления предприятием, характеризующейся показателями  $IN_i$ , и состоянием предприятия. Если  $Dg < 0,3$ , предприятие является квазиустойчивым; если  $Dg > 0,6$ , предприятие находится в состоянии самостоятельного антикризисного управления. Другие значения показателя  $Dg$  характеризуют состояние потенциального банкротства.

Решение второй задачи (оптимизации выбора управленческих воздействий) представляет собой описание такого правила формирования оптимального состава множества  $MT$ , который позволяет задать отображение, обратное  $p$  ( $p$  представлено выражением (17)). В результате предложены следующие критерии выбора антикризисных управленческих воздействий:

$$MT = OAM \wedge (BAMCAU \vee BAMPB) \wedge CAH,$$

где  $MT$  – множество управленческих воздействий, рекомендованных исследуемому предприятию;  $OAM$  – множество рекомендованных антикризисных мер, направленных на восстановление устойчивости предприятия;  $BAMCAU$  – множество рекомендованных сдерживающих антикризисных мер, предотвращающих появление признаков экономической несостоятельности;  $BAMPB$  – множество рекомендованных сдерживающих антикризисных мер, предотвращающих наступление банкротства предприятия;  $CAH$  – рекомендованный проект санации.

Выбор управленческих воздействий, направленных на восстановление антикризисной устойчивости предприятия, осуществляется в соответствии с критерием максимизации величины эффекта от применения меры в расчете на единицу затрат на ее реализацию:

$$\frac{\mathcal{E}(OAM_i)}{Z_i} \rightarrow \max;$$

$$\mathcal{E}(OAM_i) = \frac{dDg}{dIN_i} = -\frac{e^{-Y_1}}{Y_1} \sum_{j=1}^2 \frac{v_{j1}^2}{(1 + e^{-R_j})^2} v_{ij}^1 e^{-R_j},$$

где  $\mathcal{E}(OAM_i)$  – эффект от воздействия  $i$ -го элемента подсистемы устойчивости и антикризисного управления предприятия, отн. ед.;  $Z_i$  – затраты на реализацию комплекса управленческих воздействий на  $i$ -й элемент подсистемы устойчивости и антикризисного управления предприятия, млн р.;  $v_{ij}^k$  – вес связи от  $i$ -го входа к  $j$ -му нейрону  $k$ -го слоя.

В силу того что функция  $Dg$ , рассчитываемая по формуле (18), отражает влияние уровня развития отдельных антикризисных механизмов на достигнутое предприятием состояние, частная производная от функции  $Dg$  по каждому ее аргументу позволяет определить степень изменчивости состояния предприятия в ответ на усиление соответствующего антикризисного механизма. Чем больше величина этого показателя, тем выше эффект от управленческого воздействия на соответствующий антикризисный механизм.

Управленческие воздействия сдерживающего характера, предотвращающие появление признаков экономической несостоятельности, оказывают как прямое положительное воздействие на состояние предприятия (продление периода времени до нарушения удовлетворительной структуры баланса), так и косвенное негативное (ухудшение репутации предприятия, реализация активов на менее выгодных условиях, приобретение менее качественных ресурсов

и пр.). Поэтому для выбора антикризисных мер данной группы применяются критерии, позволяющие задействовать меры, имеющие более глубокие негативные последствия, только после полного задействования мер, последствия которых менее тяжелы:

$$ВАМСАУ = ДПСО, \text{ если } Э(ДПСО) \geq ПДП - ПД1;$$

$$ВАМСАУ = ДПСО \wedge НП, \text{ если } Э(ДПСО) + Э(НП) \geq ПДП - ПД1;$$

$$ВАМСАУ = ДПСО \wedge НП \wedge ЗПЗ, \text{ если } Э(ДПСО) + Э(НП) + Э(ЗПЗ) \geq ПДП - ПД1;$$

$$ВАМСАУ = ДПСО \wedge НП \wedge ЗПЗ \wedge РНР \text{ в противном случае,}$$

где ДПСО – заключение договоров с кредиторами о продлении сроков оплаты; ПДП<sub>*i*</sub> – положительный денежный поток в *i*-м периоде, млн р.; ПД1 – потребность в денежных средствах для поддержания устойчивого состояния, млн р.; НП – применение неденежных расчетов; ЗПЗ – использование заемных средств на цели погашения существующей задолженности; РНР – реализация временно неиспользуемых ресурсов; Э – чистый эффект, полученный от применения определенной антикризисной меры, млн р.

Выбор сдерживающих антикризисных мер, предотвращающих наступление банкротства предприятия, определяется минимальными затратами на устранение признаков экономической несостоятельности ( $\Delta ПД_i^{\delta}$ ):

$$ВАМПБ = \{ СумКред \vee \Delta D_1^{k1} \vee \Delta D_2^{k1} \vee \Delta D_3^{k1} \vee \Delta D_4^{k1} \};$$

$$\Delta ПД_i^{\delta} = \begin{cases} \min \{ СумКред, \Delta D_1^{k1}, \Delta D_2^{k1}, \Delta D_3^{k1}, \Delta D_4^{k1} \} \text{ при } \frac{см510}{ПА} \geq 1 - K_2^{норм} - \frac{1}{K_1^{норм}}, \\ \min \{ СумКред, \Delta D_1^{k2}, \Delta D_2^{k2}, \Delta D_3^{k2}, \Delta D_4^{k2} \} \text{ при } \frac{см510}{ПА} \leq 1 - K_2^{норм} - \frac{1}{K_1^{норм}}; \end{cases}$$

$$СумКред = \sum_{k=1}^m D_k - D_{норм}, \text{ если } D_k - D_{норм} > 0;$$

$$\Delta D_i^{k1} = \frac{K_1^{норм} (IVП + см510) - ПА}{1 - K_1^{норм}};$$

$$\Delta D_i^{k2} = \frac{IA - III}{K_2^{норм}} - ПА,$$

где  $\Delta ПД_i^{\delta}$  – объем прироста отрицательного денежного потока, позволяющий предотвратить появление признаков неудовлетворительной структуры баланса, млн р.;  $K_1^{норм}$  – нормативное значение коэффициента текущей ликвидности, отн. ед.;  $K_2^{норм}$  – нормативное значение коэффициента обеспеченности собственными оборотными средствами, отн. ед.; IA – внеоборотные активы, млн р.; ПА – оборотные активы, млн р.; III – капитал и резервы, млн р.; IVП – обязательства, млн р.; см510 – объем долгосрочных кредитов и займов, млн р.;  $D_k$  – объем долговых обязательств перед *k*-м кредитором, млн р.;  $D_{норм}$  – нормативный объем долговых обязательств, млн р.; СумКред – сумма платежей, позволяющих снизить уровни долговых обязательств перед отдельными кредиторами до нормативной величины, млн р.;  $\Delta D_i^{k1}$  – минимальный уровень погашения задолженности предприятия, позволяющий восстановить нормативное значение коэффициента текущей ликвидности до нормативной величины в *i*-м квартале, млн р.;  $\Delta D_i^{k2}$  – минимальный уровень погашения задолженности предприятия, позволяющий восстановить нормативное значение коэффициента обеспеченности собственными оборотными средствами до нормативной величины в *i*-м квартале, млн р.

Для оптимизации выбора проекта санации используется следующая модель, учитывающая отличия целей и возможностей управления предприятием на различных стадиях кризисного процесса:

$$\frac{\sum_{i=r}^m \frac{\Delta ПДП_i}{(1+d)^i} - \sum_{i=r}^m \frac{\Delta ПД1_i}{(1+d)^i}}{\sum_{i=1}^t \frac{СФ_i}{(1+d)^i}} * 100 \rightarrow \max ;$$

$$ПДП_i + \Delta ПДП_i + ЧДП^{ПП} \geq ПД1_i + \Delta ПД1_i - ДДС^{ПП} + \alpha(Dg)\Delta Z \text{ при } i > m;$$

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^m ПВАМ_{\max i} - ОВАМ_{\max i} \text{ при } i \leq m;$$

$$\sum_{i=1}^m СФ_i - ПДП_i - ПД1_i - \alpha(1,1-Dg)\Delta ПД_i^{\delta} + ПВАМ_{\max i} + ПР_i - ОВАМ_{\max i} \leq \Phi_{\text{внеш}} + \Phi_{\text{внутр}},$$

где  $d$  – ставка дисконтирования, отн. ед.;  $ЧДП^{ПП}$  – уровень необходимого чистого денежного потока, установленный лицом, которое принимает решение, млн р.;  $\Delta ПДП$  – изменение положительного денежного потока вследствие санации предприятия, млн р.;  $ДДС^{ПП}$  – уровень допустимого дефицита денежных средств, установленный лицом, которое принимает решение, млн р.;  $\Delta ПД1_i$  – изменение потребности в денежных средствах вследствие санации предприятия в  $i$ -м периоде, млн р.;  $\alpha(Dg)$  – ступенчатая функция, принимающая значение 0 при значениях диагноза предприятия  $Dg < 0,4$  и значение 1 в противном случае;  $\Delta Z$  – сумма задолженности, накопленной в процессе санации, млн р.;  $ПВАМ_{\max i}$ ,  $ОВАМ_{\max i}$  – максимально возможное изменение положительных и отрицательных денежных потоков вследствие применения временных антикризисных мер в  $i$ -м периоде, млн р.;  $СФ$  – объем финансирования проекта санации в  $i$ -м периоде, млн р.;  $\Delta ПД_i^{\delta}$  – объем прироста отрицательного денежного потока, позволяющий предотвратить появление признаков экономической несостоятельности в  $i$ -м периоде, млн р.;  $\Phi_{\text{внеш}}$ ,  $\Phi_{\text{внутр}}$  – объем финансовых средств из внешних и внутренних источников соответственно, млн р.;  $m$  – срок реализации проекта санации, мес.;  $t$  – продолжительность периода финансирования санации предприятия, мес.;  $r$  – продолжительность временного периода до появления первого эффекта от санации предприятия, мес.

Предложенная математическая модель позволяет максимизировать эффективность инвестиций с учетом будущей стоимости финансовых ресурсов (за счет дисконтирования) и при этом учитывать изменение состава доступных предприятию ресурсов и появление дополнительных направлений необходимого использования средств на различных стадиях кризиса (за счет введения пороговой функции  $\alpha(Dg)$ , обнуляющей отдельные слагаемые при различных значениях диагноза предприятия  $Dg$ ).

### 3. Оценка адекватности и практической значимости полученных математических моделей

Оценка адекватности полученных математических моделей реально существующим закономерностям кризисных изменений промышленных предприятий была выполнена посредством исследования состояния восьми предприятий за период, равный пяти годам, а также разработки рекомендаций для трех предприятий, отличающихся глубиной кризисных изменений. Данные, используемые при оценке степени точности полученных моделей, не использовались при их разработке (обучении нейронной сети, выявлении закономерностей изменения кризиса). Получены следующие результаты.

Сопоставление диагнозов пяти предприятий за 3–12 периодов, полученных на основе построенной нейронной сети, с их фактическими состояниями позволило установить стопроцентное совпадение по каждому диагнозу (квазиустойчивое состояние, самостоятельное антикризисное управление, потенциальное банкротство).

С целью проверки качества модели при исследовании скрытых, не поддающихся непосредственному наблюдению проявлений кризиса проведено сопоставление результатов диагностики состояний предприятий, полученных при помощи разработанной модели, с результатами применения моделей-аналогов (двухфакторной американской модели, Z-счета Э. Альтмана, шестифакторной модели О.П. Зайцевой, рейтинговой модели Р.С. Сайфуллина и Г.Г. Кадыкова, модели Г.В. Савицкой, модели А.В. Черновалова и А.А. Шевчука [1–6]). В итоге установлено совпадение 84,2 % диагнозов. Значительная часть несовпадения диагнозов объясняется либо чувствительностью отдельных инструментов-аналогов к факторам, которые не могут рассматриваться в качестве однозначных признаков кризисных изменений (высокий процент оборотных средств), либо низкой чувствительностью к ранним стадиям кризиса.

В силу того что достаточная точность диагностики состояния предприятия на основе искусственной нейронной сети может быть достигнута только при значениях входных параметров, близких к используемым при обучении, важной является информация о соотношении средних величин входных параметров нейронной сети в пределах генеральной совокупности (промышленность Республики Беларусь) и выборочной (обучающее множество нейронной сети). В результате установлена возможность достаточно точного применения модели в условиях хозяйственной деятельности большинства белорусских предприятий различных отраслей промышленности, так как их параметры близки к характеристикам выборочной совокупности: отличия средних величин составляют 11,4 %.

Испытание разработанной математической модели оптимизации выбора управленческих воздействий на материале РУП «Гомельторгмаш» подтверждает возможность применения разработанной модели диагностики в целях экспресс-оценки и достаточность указанных инструментов при условии отсутствия опасности возникновения признаков потенциального банкротства в сочетании с отсутствием возможностей и планов проведения преобразований, способных существенно изменить уровень устойчивости исследуемого предприятия.

Анализ перспектив изменения антикризисной устойчивости РУП «Белорусский металлургический завод» в результате реализации запланированных потенциально-кризисных процессов с использованием разработанной математической модели выбора проектов санации позволил выявить инвестиционные проекты, реализация которых позволит сохранить сложившийся уровень устойчивости предприятия. С использованием разработанной модели выбран наиболее эффективный инвестиционный проект, удовлетворяющий условиям предупреждения кризисных изменений.

Анализ антикризисной устойчивости РУП «Гомельский завод измерительных приборов» с применением полного комплекса математических моделей поддержки принятия решений по управлению промышленным предприятием на ранних стадиях кризисной ситуации позволяет сделать вывод о возможности использования указанных инструментов для выполнения экономического анализа по следующим направлениям: оценка состояния предприятия в текущем и предстоящем периоде, исследование циклических процессов в развитии предприятия, оценка возможностей улучшения состояния предприятия в результате выполнения намеченных антикризисных мер.

Проведенный анализ эффективности применения разработанных математических моделей установил возможность сокращения временных затрат на принятие решения (до 60 %), а также снижения требований к квалификации лица, принимающего решение, по сравнению с использованием существующих инструментов анализа кризисных изменений промышленных предприятий.

### **Заключение**

Полученная модель кризисной ситуации промышленного предприятия позволяет описать кризисный и антикризисный процессы предприятия, а также выявить причины и внешние проявления происходящих изменений.

Основным отличием полученной математической модели от существующих аналогов является учет параметров антикризисной системы предприятия, что позволяет в результате выделить в процессе развития кризисного процесса моменты необходимого изменения такти-

ки антикризисного управления и выполнить обоснование состава рекомендуемых антикризисных мер.

В основу полученной математической модели положены результаты исследования кризисных и антикризисных процессов предприятий различных форм собственности, отраслевой и территориальной принадлежности; следовательно, модель является универсальной относительно указанных характеристик.

Ограничения математической модели кризисной ситуации промышленного предприятия заключаются в следующем:

1. При построении модели используется материал, характеризующий только предприятия промышленности, что сужает сферу применения полученного инструмента указанной отраслью народного хозяйства. Точность полученной модели в отношении предприятий других отраслей требует дополнительного исследования.

2. Построенная модель не учитывает изменения состояния предприятий под влиянием факторов макроэкономической нестабильности (кризисных процессов, протекающих на уровне национальной и мировой экономики), поэтому применение их в таких условиях требует дополнительных соответствующих инструментов исследования больших и средних экономических волн.

3. Модель не учитывает особенности внешнего антикризисного управления, поэтому может быть применена только в условиях сохранения хозяйственной самостоятельности.

Практическая значимость модели определяется тем, что ее исследование позволило получить инструментарий диагностики состояния предприятия на основе оценки эффективности действия отдельных механизмов поддержания устойчивости и определить состав антикризисных мер, наиболее эффективных для исследуемого предприятия.

### Список литературы

1. Altman, E.I. Corporate Financial Distress / E.I. Altman. – N.Y. : John Wiley, 1983. – 112 p.
2. Beaver, W.H. Financial Ratios and Predictions of Failure / W.H. Beaver // Empirical Research in Accounting: Selected Studies, Supplement to Journal of Accounting Research. – 1966. – № 4. – P. 71–111.
3. Трененков, Е.М. Диагностика в антикризисном управлении / Е.М. Трененков, С.А. Дведенидова // Менеджмент в России и за рубежом. – 2002. – № 1. – С. 3–25.
4. Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / Г.В. Савицкая. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск : ООО «Новое знание», 2000. – 688 с.
5. Черновалов, А. Прогнозирование несостоятельности действующих предприятий и фирм в Беларуси / А. Черновалов, А. Шевчук // Эковест. – 2004. – № 1 – С. 130–151.
6. Шеремет, А.Д. Методика финансового анализа / А.Д. Шеремет, Р.С. Сайфулин, Е.В. Негашев. – М. : ИНФРА-М, 2000. – 208 с.
7. Ансофф, И. Стратегическое управление / И. Ансофф. – М. : Экономика, 1989. – 512 с.
8. Айвазян, З. Антикризисное управление: принятие решения на краю пропасти / З. Айвазян, В. Кириченко // Проблемы теории и практики управления. – 1999. – № 4. – С. 93–98.
9. Быков, А.А. Целевые критерии превентивного антикризисного управления в бизнес-системах / А.А. Быков // Бел. экон. журнал. – 2006. – № 2. – С. 64–75.
10. Семенов, Б.Д. Антикризисный менеджмент : учеб.-метод. пособие / Б.Д. Семенов. – Минск : ООО «ФУА информ», 2002. – 80 с.
11. Теория и практика антикризисного управления : учеб. пособие / Г.З. Базаров [и др.] ; под ред. С.Г. Беляева, В.И. Кошкина. – М. : Закон и право, ЮНИТИ, 1996. – 469 с.
12. Масалитина, Н.Н. Диагностика кризисных ситуаций предприятия / Н.Н. Масалитина // Бел. экон. журнал. – 2006. – № 2. – С. 76–86.
13. Об экономической несостоятельности (банкротстве) : Закон Респ. Беларусь от 18 июля 2000 г. № 423-З // Консультант Плюс: Версия Проф. [Электрон. ресурс] / АО «Консультант Плюс». – Минск, 2000. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
14. Инструкция по анализу и контролю за финансовым состоянием и платежеспособностью субъектов предпринимательской деятельности : постановление Министерства финансов Республики Беларусь, Министерства экономики Республики Беларусь, Министерства статисти-

ки и анализа Республики Беларусь, 14 мая 2004 г. № 81/128/65 // Эталон-Беларусь [Электрон. ресурс] / Нац. центр правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2004. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

15. Масалитина, Н.Н. Оценка антикризисной устойчивости промышленного предприятия с применением нейронных сетей / Н.Н. Масалитина // Молодежь в науке – 2009 : прил. к журн. «Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» : в 5 ч. Ч. 2. Сер. гуманит. наук. – Минск, 2010. – С. 437–442.

Поступила 02.11.09

*Гомельский государственный технический  
университет им. П.О. Сухого,  
Гомель, пр. Октября, 48  
e-mail: masalitina@rambler.ru*

**N.N. Masalitina**

**MODELING THE CRISIS STATES  
OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE**

A mathematical model of the crisis states of an industrial enterprise is suggested. It reflects influence of mechanisms which protect an enterprise from crisis and helps to overcome its consequences. The results of the model investigation and its verification are considered.