

УДК 662.74, 622.33

О.В. Тайлаков, Д.Н. Застрелов, Д.В. Исламов

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Описан подход, основанный на совместном использовании графоаналитического метода и методов анализа экономических показателей функционирования машиностроительных предприятий для оценки состояний и моделирования траекторий развития предприятий угольного машиностроения
Ключевые слова: угольное машиностроение, развитие предприятий, сетевое моделирование.

Семинар № 9

Современные машиностроительные предприятия характеризуются сложной многоуровневой иерархической структурой, состоят из отдельных участков, цехов и отделов по распределению и использованию материальных, трудовых, финансовых ресурсов и выпуску готовой продукции. Предприятия угольного машиностроения предназначены для удовлетворения спроса определенного массива потребителей – угледобывающих компаний. Изменения в угольной промышленности оказывают влияние на тенденции развития машиностроительного производства. При этом траектории развития предприятий угольного машиностроения могут быть представлены совокупностью состояний и направлений их изменения, характеризующих функционирование многокомпонентных систем. Эти состояния определяются существующими ресурсами, параметрами материальных потоков, которые перемещаются и обрабатываются различными подразделениями, а также регулируемы модификациями структуры, инвестиционной

привлекательностью предприятий и перспективами их роста.

Для моделирования процессов функционирования машиностроительных предприятий широко применяются методы теории графов, которые позволяют отображать структуру исследуемых систем и балансовые модели, характеризующие распределение материальных потоков технологических процессов выпуска продукции, а также экономические модели, позволяющие описывать их основные экономические показатели. Комбинация этих подходов обеспечивает в совокупности адекватное описание базисных условий функционирования промышленных единиц и отображение возможных технологических ситуаций при изменении параметров рассматриваемых систем и процессов в реальном времени. При этом совместное использование графоаналитического методов и методов анализа экономических показателей функционирования машиностроительных предприятий требует применения и развития подходов, позволяющих обобщать разнородные показатели и исследовать интегральные оценки.

Для моделирования траекторий развития предприятий угольного машиностроения предлагается использовать анализ свойств ориентированных графов, отображающих динамику функционирования рассматриваемых промышленных единиц, а также оценку производственных показателей предприятий, характеризующих их статические свойства. Этот подход включает следующие основные этапы:

Подготовка исходных данных: расчет показателей работы производства D_i, K_i, Z_{ij}, B_i и построение ориентированных графов предприятий угольного машиностроения N_1, N_2, \dots, N_6 .

Исследование свойств модели: анализ поведенческих и структурных свойств ориентированных графов и производственных показателей машиностроительных предприятий D_i, Z_{ij} .

Анализ обобщенных показателей: расчет первой и второй производной энтропии J предприятий угольного машиностроения.

Интерпретация результатов: выводы и рекомендации.

В качестве исходных данных использованы показатели работы предприятий D_i, Z_j и оценка свойств ориентированных графов N_1, N_2, \dots, N_6 . Для примера использованы показатели по ЗАО «Сибтензоприбор» (G_1), ОАО «Автоагрегат» (G_2), ООО «КемеровоХиммаш» (G_3), ООО «Завод Электродвигатель» (G_4), ОАО «КАРЗ-1» (G_5), ООО «Кемеровский Авторемзавод» (G_6). При исследовании взаимодействия отделов, цехов и участков машиностроительных предприятий G_i , а также разработке моделей на основе ориентированных графов использована информация об их производственных структурах. Модель функционирования предприятия угольного машиностроения представлена в виде

сети Петри $N = \{P, T, I, O, M_0\}$, которая состоит из конечного множества позиций $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, соответствующих отделам, технологическим цехам и участкам, конечного множества переходов $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, характеризующих этапы выпуска продукции, соединенных дугами: I – входная функция, O – выходная функция, которые отражают взаимодействие структурных подразделений в процессе изготовления продукции угольного машиностроения, а также обладает начальной маркировкой M_0 , соответствующей заданным трудовым, материальным и финансовым ресурсам. Функционирование сети N осуществляется посредством срабатывания переходов. На основе использования математического аппарата сетей Петри построены ориентированные графы $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$.

Применение сетевого моделирования для анализа функционирования производственных объектов, к которым относятся предприятия угольного машиностроения, обусловлено наличием значительного количества взаимосвязей между отдельными цехами и участками заводов. При интерпретации позиций p_m и переходов t_m ориентированных графов можно выделить несколько основных блоков, характеризующих этапы выпуска продукции угольного машиностроения. Например, для сети N_1 (рис. 1) этап формирования материальных и трудовых ресурсов соответствует совокупности $T = \{t_8, t_{13}, t_{14}\}$, формирование потока финансовых средств отражают $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_6, p_7, p_8\}$ и $T = \{t_1, t_4, t_5, t_6, t_7\}$, вложение инвестиционных средств в основные фонды цехов предприятия характеризуют $T = \{t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{19}\}$, технологический процесс выпуска продукции включает $P = \{p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}\}$ и $T = \{t_{20}, t_{21}, t_{22}\}$.

Выполнен анализ структурных и поведенческих свойств ориентированных графов предприятий угольного машиностроения.

Повторяемость:

$$\begin{cases} g_1c_1 + g_1c_2 + \dots + g_1c_n = 0 \\ g_2c_1 + g_2c_2 + \dots + g_2c_n = 0 \\ \dots \\ g_m c_1 + g_m c_2 + \dots + g_m c_n = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где $g=(g_1, g_2, \dots, g_n)$ – вектор, характеризующий переходы сети t_n (технологические операции выпуска продукции угольного машиностроения), C – матрица инцидентий, отражающая совокупность входных и выходных функций.

Повторяемость сети отражает возможность повторения производственного цикла. Если сеть не повторяема,

то возможно изменение последовательности этапов выпуска продукции угольного машиностроения без ухудшения показателей работы предприятия, что важно при мелкосерийном и единичном выпуске горно-шахтного оборудования.

Консервативность:

$$\begin{cases} f_1c_1 + f_1c_2 + \dots + f_1c_m = 0 \\ f_2c_1 + f_2c_2 + \dots + f_2c_m = 0 \\ \dots \\ f_n c_1 + f_n c_2 + \dots + f_n c_m = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где $f=(f_1, f_2, \dots, f_m)$ – вектор, характеризующий позиции сети p_m (структурные подразделения машиностроительного предприятия: отделы, цеха, участки), C – матрица инцидентий, отражающая совокупность входных и выходных

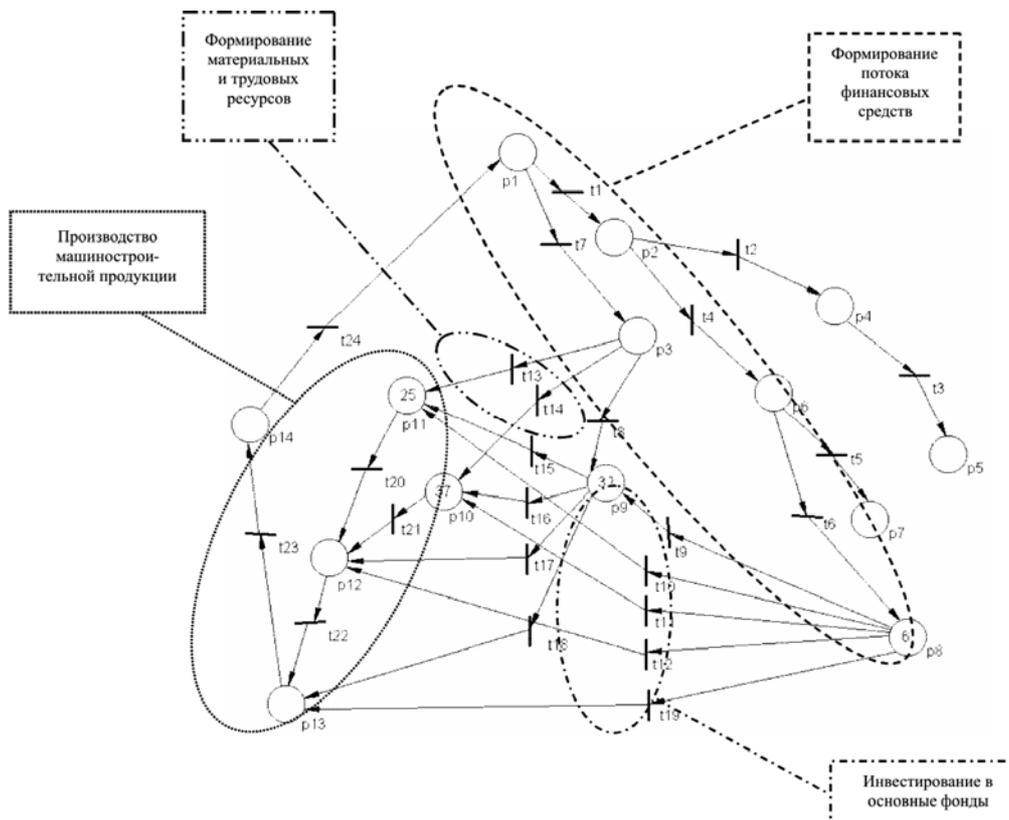


Рис. 1. Сеть N_1 , отражающая функционирование предприятия угольного машиностроения G_1 (ЗАО «Сибтензоприбор»)

функций (взаимодействие позиций p_m (цеха, отделы и участки) и переходов сети t_n (этапы выпуска машиностроительной продукции)).

Консервативность сети характеризует уровень загрузки производства предприятия угольного машиностроения. Если сеть консервативна, то существует высокая вероятность недостаточной загрузки цехов и возникновения простоев на предприятии.

Консистентность:

$$C^T g = 0, g > 0, \quad (3)$$

где $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ – вектор, характеризующий переходы сети t (технологические операции выпуска продукции угольного машиностроения), C – матрица инцидентий, отражающая совокупность входных и выходных функций (взаимосвязь позиций p_m (цеха, отделы и участки) и переходов сети t_n (этапы выпуска машиностроительной продукции)).

Консистентность свидетельствует о том, что переход сети срабатывает каждый раз при привлечении трудовых ресурсов и подаче материальных ресурсов в цеха промышленных единиц и характеризует процесс выпуска продукции угольного машиностроения.

Нахождение р-инвариантов:

$$fC = 0, \quad (4)$$

где $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ – вектор, характеризующий позиции сети p_m (структурные подразделения предприятия: отделы, цеха, участки), C – матрица инцидентий, отражающая совокупность входных и выходных функций (взаимосвязь позиций p_m (цеха, отделы и участки) и переходов сети t_n (этапы выпуска машиностроительной продукции)).

Нахождение t-инвариантов:

$$Cg = 0, \quad (5)$$

где $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ – вектор, характеризующий переходы сети t_n (технологические операции этапов выпуска продукции угольного машиностроения), C – матрица инцидентий, отражающая совокупность входных и выходных функций (взаимосвязь позиций p_m (цеха, отделы и участки) и переходов сети t_n (этапы выпуска машиностроительной продукции)).

функций (взаимодействие позиций p_m (цеха, отделы и участки) и переходов сети t_n (этапы выпуска машиностроительной продукции)).

P - и t -инварианты представляют собой фрагменты сети, в которых происходит перемещение финансовых материальных, трудовых ресурсов и свидетельствуют о наличии производственных контуров, которые описывают замкнутые процессы выпуска машиностроительной продукции.

Ограниченность:

$$fC \leq 0, f > 0, \quad (6)$$

где $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ – вектор, характеризующий позиции сети p (структурные подразделения предприятия: отделы, цеха, участки), C – матрица инцидентий, отражающая совокупность входных и выходных функций (взаимосвязь позиций p_m (цеха, отделы и участки) и переходов сети t_n (этапы выпуска машиностроительной продукции)).

Ограниченность характеризует перемещение ресурсов между цехами предприятий угольного машиностроения. Если сеть неограничена, то высока вероятность накопления заготовок перед каждой последующей технологической операцией.

Анализ ориентированных графов машиностроительных предприятий показал, что сети $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ консервативны. Это указывает на недостаточное обеспечение непрерывной загрузки цехов: пока происходит термическая обработка t_{20} и первичная механическая обработка t_{21} не осуществляется сборка деталей t_{22} . Этот недостаток можно устранить путем применения конвейерного принципа организации работ. Сети N_1, N_2, \dots, N_6 не обладают свойством повторяемости, что указывает на возможность конечного воспроизведения технологического

цикла изготовления продукции и является важным фактором при серийном или мелкосерийном выпуске новых видов горно-шахтного оборудования, так как позволяет перестраивать этапы производственного процесса без ухудшения показателей работы предприятия. Сети N_1, N_2, \dots, N_6 не ограничены, следовательно, не исключают возможности накопления заготовок и деталей перед каждой последующей операцией. Исправить ситуацию возможно путем установления четкого согласования (разрешения) подачи заготовок и выпуска готовых деталей.

В качестве показателей работы предприятий использованы размер возможной прибыли инвестора, относительный коэффициент ресурсов предприятия, относительные производственные показатели машиностроительных предприятий:

$$D = A_i \frac{K_i - 1}{(1 + d)^t}, \quad (7)$$

$$K_i = \frac{A_p + V + Y + Y_d - R - R_k}{A_a}, \quad (8)$$

$$Z_{ij} = \frac{F_{ij}}{F_j^0}, \quad (9)$$

$$B_i = \sum_{j=1}^l Z_{ij}, \quad (10)$$

$$F_{ij} = \frac{F_{t+1}}{F_t}, \quad (11)$$

где D – прибыль инвестора; A_i – размер инвестиций в акции предприятия; A_a – рыночная стоимость всех акций предприятия, сложившаяся на сегодняшний момент на рынке; K_i – относительный коэффициент ресурсов предприятия; t – год реализации проекта (период времени); d – ставка дисконтирования; A_p – стоимость имущества предприятия; V – приведенная

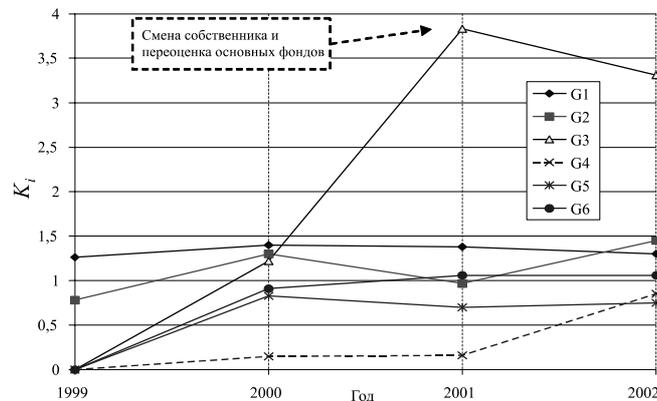
прибыль предприятия; Y – дебиторская задолженность; Y_d – приведенные проценты по дебиторской задолженности; R – кредиторская задолженность; R_k – приведенные проценты по кредиторской задолженности; Z_{ij} – относительный показатель работы i -го предприятия; l – количество относительных производственных показателей; F_{ij} – темп роста показателя i -го предприятия; F_j^0 – среднеотраслевой показатель; j – количество показателей; i – количество машиностроительных предприятий; B_i – весовой коэффициент i -го предприятия, F_t – показатель работы производства в t -ый год; F_{t+1} – показатель работы производства в год $t+1$.

Относительный коэффициент ресурсов предприятия K_i влияет на размер возможной прибыли, получаемой инвестором от вложения средств в акции машиностроительного предприятия. Но этот коэффициент не позволяет оценить работу отдельного машиностроительного предприятия в сравнении со среднеотраслевыми производственными показателями, т.е. выделить наиболее привлекательные для инвесторов предприятия внутри отрасли. На рис. 2 приведены результаты расчета K_i для предприятий угольного машиностроения: G_1 (ЗАО «Сибтензорприбор»), G_2 (ОАО «Автоагрегат»), G_3 (ООО «КемеровоХиммаш»), G_4 (ООО «Завод Электродвигатель»), G_5 (ОАО «КАРЗ-1»), G_6 (ООО «Кемеровский Автотормзавод»).

Разработан алгоритм формирования рейтинга инвестиционной привлекательности предприятий угольного машиностроения:

1. По каждому предприятию рассчитываются показатели: темп роста товарной продукции F_1 , заработной платы F_2 , производительности труда на одного работника промышленно-

Рис. 2. Изменение относительного коэффициента ресурсов K_i для предприятий угольного машиностроения G_1, G_2, \dots, G_6



производственного персонала F_3 , фондоотдачи F_4 , стоимости основных фондов F_5 , балансовой прибыли F_6 , рентабельности продукции F_7 , а также коэффициента износа основных фондов F_8 .

2. Полученные показатели F_{ij} относятся к среднеотраслевым значениям F_j^0 .

3. По каждому предприятию определяется весовой коэффициент V_i , при расчете которого (в зависимости от характера показателя) суммируются прямые или обратные величины относительных производственных показателей Z_{ij} .

4. Проводится ранжирование предприятий по убыванию значения V_i .

5. Выполняется анализ полученных результатов, формулируются выводы.

По результатам расчета относительных производственных показателей Z_{ij} сформирован рейтинг инвестиционной привлекательности на примере предприятий угольного машиностроения Кемеровской области (табл. 1).

Результаты рейтинговой оценки показывают, что наибольшей инвестиционной привлекательностью обладает G_2 , затем следуют G_3, G_4 . Необходимо отметить, что из-за снижения темпа роста прибыли и, соответственно, рентабельности G_1, G_4 и G_6 относительные показатели этих предприятий ниже среднеотраслевого уровня и отрицательно влияют на весовой коэффициент данных промышленных единиц. Если бы темпы роста прибыли этих предприятий были не ниже среднеотраслевых значений, то этот фак-

тор мог бы серьезно повлиять на итоговый результат рейтинга.

Существующие подходы к анализу функционирования машиностроительных предприятий учитывают либо показатели работы производства, либо предполагают изучение свойств ориентированных графов. Объединение этих двух подходов с помощью метода энтропийного анализа, последовательно развиваемого в работах проф. А.Б. Логова, позволило сформировать количественные характеристики, отражающие траектории развития предприятий угольного машиностроения, посредством совместного анализа производственных показателей и оценки структурных свойств ориентированных графов. Энтропия J учитывает удельный вес каждого показателя q_i . При этом свойства ориентированных графов заданы в виде бинарного показателя. Например:

$$Q_j = \begin{cases} 0, & \text{если } fC = 0 \\ 1, & \text{если } fC \neq 0 \end{cases} \quad (12)$$

В обобщенном виде энтропия:

$$J = - \sum_{i=1}^k q_i \ln(q_i), \quad (13)$$

где q_i – удельный вес показателя $\sum_{i=1}^e q_i = 1, i = \overline{1, e}$ – количество предприятий.

Рейтинг инвестиционной привлекательности предприятий машиностроения

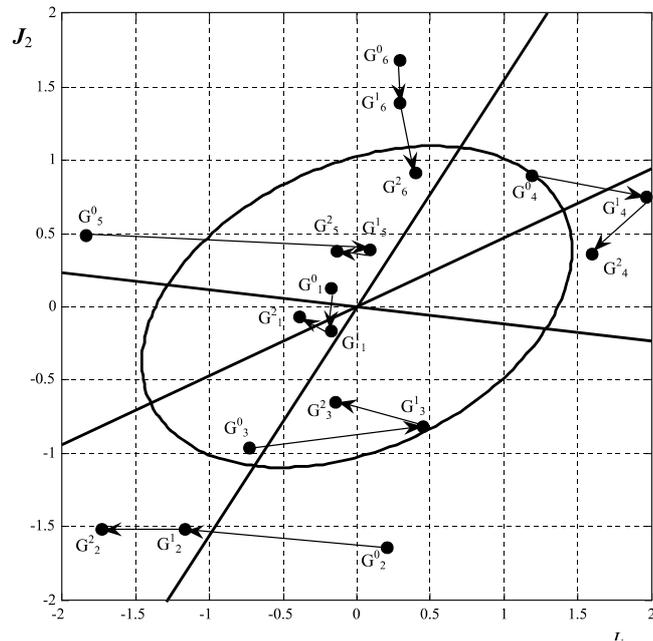
Предприя- тие	Темп роста (F_{2002}/F_{2001})								B_i	Рей- тинг
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8		
Средне от- раслевой пок-ль (F^0)	90,5	128,9	102,1	89,4	101,4	106,7	101,6	100,4	-	-
G_2	228,9	259,6	161,9	220,3	103,9	256,2	292	103,2	13,9	1
G_3	172	145,1	145,7	53	324,3	119,7	104,5	8,35	10,3	2
G_4	104,1	123	104,1	16,3	635,9	70	53	94,7	9,8	3
G_5	118,5	122,4	121,1	127	93,3	110,4	76,1	102,6	6,5	4
G_6	69,2	64,7	74,1	305,8	22	23,7	33,7	106,5	5,1	5
G_1	88,2	109	81,8	85,7	102,9	64,5	46,51	97,3	4,7	6

Энтропия рассчитана для предприятий угольного машиностроения $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6$. При расчете энтропии J принято $k=21$. При этом изменение состояний предприятий угольного машиностроения, представленных на фазовой плоскости в координатах J' и J'' , характеризует траектории развития рассматриваемых объектов. На фазовой плоскости траектории представлены в виде геометрического места точек, вдоль которого происходит изменение состояний промышленных единиц $G^0_i \rightarrow G^1_i \rightarrow G^2_i$. J_1 характеризует интегральный показатель ориентированных графов, а J_2 – экономические характеристики функционирования предприятия. Коэффициент корреляции r отражает зависимость между значениями J_1 и J_2 (рис. 3). Состояния предприятий угольного машиностроения G^1_i характеризуются гипотетическим увеличением темпов роста товарной продукции, которые составили для: $G^1_1 - 1,6$; $G^1_2 - 1,8$; $G^1_3 - 1,4$; $G^1_4 - 1,5$; $G^1_5 - 1,6$; $G^1_6 - 1,1$, а также снижением для G^1_5 количества позиций p_m в сети N_5 до 25 и позиций, имеющих начальную маркировку M_0 с 7 до 3. Принято, что сети N_3, N_6 не консервативны, N_4 ограничена, N_2, N_6 не обладают консистентностью, а N_2 , свойством повторяемости. Состояния предприятий G^2_i

характеризуются дополнительным заданным изменением темпов роста фондоотдачи/стоимости основных фондов/изменением количества p_m в сетях N_1, N_2, \dots, N_6 , которые составили для: $G^2_1 - 1,2/1,1/16$;
 $G^2_2 - 2,2/1,1/20$;
 $G^2_3 - 1,1/2,2/22$;
 $G^2_4 - 0,7/3/19$;
 $G^2_5 - 1,2/1,1/22$;
 $G^2_6 - 2,3/0,8/14$, Также состояния G^2_i характеризуются снижением K_{2001}/D_{2001} , которые составили для: $G^1_1 - 0,69/1,45$; $G^1_3 - 1,9/4,5$; $G^1_6 - 2,1/4,2$. Чем ближе $G^0_i \rightarrow G^1_i \rightarrow G^2_i$, к асимптоте фазовой плоскости, тем траектории более устойчивы. Траектория лидирующего по состоянию предприятия $G^0_4 \rightarrow G^1_4 \rightarrow G^2_4$ находится в I четверти фазовой плоскости, а также проходит вблизи границ с внешней стороны эллипса устойчивости, характеризуется более высокой позитивной, но не стабильной динамикой развития предприятия по сравнению с другими промышленными единицами. Траектория $G^0_3 \rightarrow G^1_3 \rightarrow G^2_3$ характеризуется низкими показателями работы предприятия, т.к. из переходного состояния G^1_3 предприятие G^2_3 снова возвращается в III четверть фазовой плоскости. Это подтверждается снижением стоимости основных фондов.

Рис. 3. Результаты моделирования траекторий развития предприятий угольного машиностроения G_1, G_2, \dots, G_6

Траектория $G^0_1 \rightarrow G^1_1 \rightarrow G^2_1$ иллюстрирует типичное среднее состояние, имеет тенденцию к сохранению стабильности работы предприятия, т.к. входит в границы эллипса устойчивости. Одновременно констатируется плохая управляемость предприятия. Траектория $G^0_2 \rightarrow G^1_2 \rightarrow G^2_2$ абсолютно неустойчива по отношению к рассматриваемой системе, т.к. выходит за границы эллипса устойчивости, характеризуется значимым ухудшением показателей функционирования предприятия за счет уменьшения балансовой прибыли и рентабельности продукции. Изменение $G^0_5 \rightarrow G^1_5 \rightarrow G^2_5$ направлено в сторону эллипса устойчивости и отражает резкий переход к стабильной работе предприятия, что характеризу-



ется увеличением темпов роста товарной продукции. Эффект стабилизации состояния иллюстрирует траектория $G^0_6 \rightarrow G^1_6 \rightarrow G^2_6$.

В дальнейшем планируется использовать сетевые модели для оценки взаимодействия предприятий угольного машиностроения и потребителей их продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бандман М.К., Бандман О.Л., Есикова Т.Н. Территориально-производственные комплексы: Прогнозирование процесса формирования с использованием Сетей Петри – Новосибирск.: Наука, 1990. – 303 с.
2. Радионов Н.В., Радионова С.П. Основы финансового анализа: математические

методы, системный подход. – СПб.: Альфа, 1999. – 592 с.

3. Логов А.Б., Кочетков В.Н., Рожков А.А. Энтропийный подход к моделированию процесса реструктуризации угольной отрасли – Кемерово-М: 2001, – 324 с.

ГИАБ

Коротко об авторах

Тайлаков О.В. – зав. лабораторией, доктор технических наук, профессор, tailakov@uglemetan.ru
 Застрелов Д.Н. – мл. научный сотрудник, кандидат технических наук, dennn@kuzbass.net
 Исламов Д.В. – научный сотрудник, кандидат технических наук, islamov@kuzbass.net
 Институт угля и углехимии СО РАН,