

УДК 658.5(075.8)

АЛЁХИН А. Б.

Одесский национальный политехнический университет

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Разработан и апробирован на задаче анализа потенциальной функции гипотетического промышленного предприятия алгоритм классификации множества многомерных векторов наблюдений в заранее неизвестное количество классов. В рамках оптимизационного подхода к измерению потенциалов промышленных предприятий обоснована целесообразность применения методов автоматической классификации для анализа свойств потенциальных функций предприятия, заданных в табличной форме по результатам статистических испытаний экономико-математической модели. Для решения указанной задачи разработан алгоритм классификации множества многомерных векторов в заранее неизвестном количестве классов, рассчитанный на работу с большими массивами данных, характеризующийся быстротой вычислений, обладающий рядом важных для экономических исследований настраиваемых параметров и обеспечивающий построение содержательных с экономической точки зрения группировок векторов наблюдений. На примере математической модели гипотетического предприятия с применением методов Монте-Карло и оптимизации построена потенциальная функция предприятия и выполнен ее кластерный анализ с использованием предложенного алгоритма. Показано, что методы автоматической классификации множества векторов вероятных эндогенных и экзогенных параметров предприятия совместно с соответствующим им уровнем потенциала предприятия позволяют провести зонирование области внутренних и внешних условий, выделить специфические особенности каждой из выделенных зон и типовые отклики потенциальных функций предприятия. Выявленные в результате кластерного анализа свойства потенциальных функций предприятия при наличии возможных сценариев развития внешних условий его функционирования позволяют ставить конкретные задачи по развитию предприятия с целью минимизации негативного влияния изменения внешней среды и повышения потенциала предприятия в целом.*

*Ключевые слова:* стратегическое управление, промышленное предприятие, экономический потенциал, потенциальная функция, кластерный анализ.

ALYOKHIN A.

Odessa National Polytechnic University

## ALGORITHM OF AUTOMATIC CLASSIFICATION AS AN INSTRUMENT OF ANALYSIS OF INDUSTRIAL ENTERPRISE POTENTIAL FUNCTIONS

*The algorithm for classifying of the set of multidimensional observation vectors into a previously unknown number of classes has been developed and tested on the problem of analyzing of the potential function of a hypothetical industrial enterprise. Within the optimization approach to measurement of potentials of industrial enterprises, the expediency of using automatic classification methods for analyzing of properties of potential functions of an industrial enterprise, which are specified in tabular form based on the results of statistical tests of the economic and mathematical model of an enterprise, is justified. To solve the above problem, an algorithm for classifying of multidimensional vectors in a previously unknown number of classes has been developed, designed to work with large data sets, characterized by the speed of calculations, which has a number of important for economic studies configurable parameters and provides the receiving of economically meaningful groupings vectors of observations. On the example of the mathematical model of a hypothetical enterprise using Monte Carlo and optimization methods, the potential function of the enterprise is constructed and its cluster analysis is performed using the proposed algorithm. It is shown that the methods of automatic classification of a set of vectors of probable endogenous and exogenous parameters of an enterprise together with the corresponding level of the enterprise potential allow zoning of the region of internal and external conditions, to identify specific features of each of them and typical responses of potential functions of the enterprise. Identified as a result of cluster analysis, the properties of the potential function of the enterprise in the presence of possible scenarios for the development of the external conditions of its functioning allow to formulate problems of development of the enterprise in order to minimize the negative influence of changes in the external environment and increase the capacity of the enterprise as a whole.*

*Keywords:* strategic management, industrial enterprise, economic potential, potential function, cluster analysis.

**Постановка проблемы.** Оптимизационный подход к оценке потенциалов предприятия, активно развиваемый рядом украинских ученых в последние годы, предусматривает применение экономико-математических моделей оптимизационного типа в качестве модели потенциала, исследование этих моделей с применением методов оптимизации и статистических испытаний, анализ свойств потенциальных функций на основе графиков, представленных статистическими выборками, статистическими методами многомерного анализа.

Используемые для анализа потенциальных функций методы корреляционного, факторного и регрессионного анализа позволяют выделить факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на величину потенциала предприятия, и которые выступают как возможные объекты воздействия на стадии целеполагания стратегического управления предприятием. В то же время результаты таких исследований носят весьма общий характер, опираются на ограничительные предположения методов линейной множественной регрессии и множественного корреляционного анализа, что снижает их научную обоснованность, и содержат ограниченную информацию об особенностях потенциальных функций, которая может играть важную роль при разработке стратегии развития предприятия.

Применение регулярных иерархических методов кластерного анализа с последующим анализом результирующих дендрограмм с целью выявления и изучения свойств потенциальных функций недостаточно эффективно в силу большой размерности потенциальных функций, порождаемых методом Монте-Карло, статистических выборок их графиков и, как следствие, большого числа классов итоговых классификаций.

С учетом указанных обстоятельств задача совершенствования статистических методов анализа потенциальных функций предприятия в рамках оптимизационного и статистического подходов является весьма актуальной.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Оптимизационный подход к измерению потенциалов в экономике логически вытекает из концепции потенциала экономического субъекта как способности к осуществлению имманентно присущей ему деятельности, характеризующей максимально возможный результат такой деятельности, впервые предложенной в работах И.Н. Карапейчика [9, 10], развиваемой в работах ряда ученых [1, 5, 11, 12, 19, 20] и систематизированной в обзорной статье [21]. Независимо от этого к идее применения экономико-математических моделей для оценки экономического потенциала предприятия пришли и авторы работ [14, 15], основываясь на понимании того обстоятельства, что потенциалы предприятия представляют собой предельные синтетические признаки, для описания и измерения которых наиболее подходящим инструментом являются оптимизационные модели.

Представление модели в виде оптимизационной задачи специального вида, принятое в рамках оптимизационного подхода, позволило в явном виде выразить зависимость потенциала от ряда параметров состояния предприятия и внешней среды, что в итоге послужило основанием для введения в экономическую теорию потенциалов понятия потенциальной функции предприятия как обобщения понятия уровня потенциала [13] и разработки методов анализа таких функций.

Методические подходы к оценке потенциалов предприятия, а также других его признаков, относящихся к классу способностей, рассматривались в работах [1– 5, 14, 15, 16, 17, 21]. Наиболее содержательные результаты были получены при использовании статистических методов, включая метод статистического испытания (метод Монте-Карло) и методы многомерного статистического анализа – методы корреляционного [6, 7, 8], факторного [6, 8] и регрессионного [1, 6, 7] анализа. С помощью указанных методов из всей совокупности эндогенных и экзогенных факторов, влияющих на величину потенциала, удавалось выделить критические факторы, изменение которых вызывает наиболее существенное изменение величины потенциала предприятия. Воздействие именно на такие факторы, по мнению авторов этих исследователей, следует рассматривать как приоритетные приемы управления в рамках стратегического управления предприятием.

Все результаты подобного рода основаны на исследованиях статистической связи между параметрами потенциальной функции и ее аргументами и отражают наличие таких связей. Это существенно ограничивает значимость полученных результатов и оставляет вопросы к уровню их обоснованности. В отличие от этого полное знание потенциальной функции позволяет получить представление о величине потенциала предприятия в любых условиях, т.е. при любых сочетаниях параметров внутренних и внешних факторов. Упомянутые выше методы не позволяют получить такую информацию, что обосновывает целесообразность дальнейшего совершенствования методического инструментария анализа потенциальных функций предприятия, в том числе и в рамках статистического подхода.

**Формулирование целей статьи.** Целью настоящего исследования является разработка алгоритма группировки многомерных векторов в заранее неизвестное число классов и демонстрация возможностей его применения в рамках решения проблемы стратегического управления промышленным предприятием для анализа свойств потенциальной функции предприятия, заданной статистической выборкой, получаемой путем статистических испытаний экономико-математической модели предприятия оптимизационного типа.

**Изложение основного материала исследований.** Для достижения поставленной цели воспользуемся относительно простой экономико-математической моделью гипотетического промышленного предприятия, использованной ее автором в [6, 7] для демонстрации возможностей предлагаемых этим ученым методических подходов к исследованию потенциальных функций предприятия.

В основу данной модели положены следующие предположения.

Предприятие располагает некоторым набором технологических способов (технологий) производства продукции (количество технологий равно  $n$ ), основными производственными фондами (ОПФ) и персоналом. С помощью каждой технологии может быть выпущен только один вид продукции. Для производства продукции каждого вида в рамках соответствующей технологии используется определенный набор (комплект) материальных ресурсов различного вида (количество видов ресурсов в комплекте равно  $m$ ), а также ОПФ и персонал (трудовые ресурсы). Использование факторов производства ограничено величиной ОПФ предприятия, численностью персонала и предложением материальных ресурсов на рынке. Объемы производства продукции ограничены спросом на продукцию со стороны рынка продукции. В модели прибыль и фонд оплаты труда подлежат налогообложению.

С учетом сделанных предположений, основные соотношения модели имеют следующий вид.

Объемы производства продукции каждого вида определяются с помощью производственных функций мультипликативного типа:

$$q_i = A_i \cdot K_i^{\alpha_{K_i}} \cdot L_i^{\alpha_{L_i}} \cdot R_i^{\alpha_{R_i}} \quad \forall i, \quad (1)$$

где  $i$  – индекс вида продукции,  $i \in (1, \dots, n)$ ;  $q_i$  – объемы производства продукции вида  $i$ ;  $K_i, L_i, R_i$  – соответственно затраты основного капитала и труда, количество комплектов ресурсов, используемых в технологическом способе производства вида  $i$ ;  $A_i, \alpha_{K_i}, \alpha_{L_i}, \alpha_{R_i}$  – параметры  $i$ -й производственной функции.

Валовый выпуск  $Q$  предприятия определяется по формуле

$$Q = q \cdot c_q, \quad (2)$$

где  $q$  –  $n$ -мерный вектор объемов производства продукции, а  $c_q$  – вектор цен на продукцию предприятия.

Затраты ресурса  $r_{ij}$  вида  $j$  ( $j \in (1, \dots, m)$ ) при применении технологии  $i$  вычисляются по формуле (3), а затраты в производстве в целом ресурса  $r_j$  вида  $j$  – по формуле (4)

$$r_{ij} = a_{ij} \cdot R_i \quad \forall i, j; \quad (3)$$

$$r_j = \sum_i r_{ij}. \quad (4)$$

В формуле (3) параметр  $a_{ij}$  указывает на количество ресурса вида  $j$  в одном ресурсном комплекте вида  $i$ .

Валовые расходы  $C$  модельного предприятия вычисляются по формуле (5), а чистая прибыль предприятия  $P_n$  – по формуле (6),

$$C = \sum_j c_{rj} \cdot r_j + \sum_i (1 + \delta_L) \cdot c_L \cdot L_{i+} + c_0; \quad (5)$$

$$P_n = \begin{cases} P_g, & P_g \leq 0 \\ (1 - \delta_P) \cdot P_g, & > P_g \end{cases}; \quad P_g = Q - C - \delta_K \cdot K. \quad (6)$$

Здесь  $c_{rj}$  – цена материального ресурса вида  $j$ ;  $c_L$  – "цена" трудовых ресурсов;  $\delta_L$  – ставка сборов и отчислений, пропорциональных фонду оплаты труда;  $c_0$  – условно-постоянные расходы предприятия;  $\delta_K$  – коэффициент амортизации;  $\delta_P$  – ставка налога на прибыль предприятия.

Управляющими переменными предприятия являются объемы факторов производства  $K_i, L_i, R_i$ , используемых в каждом способе производства  $i$ .

С учетом этого равновесное состояние предприятия определяется как решение задачи максимизации чистой прибыли  $P_n$ :

$$\max_{K,L,R} P_n, \quad (7)$$

где  $K=(K_1, \dots, K_n)$ ;  $L=(L_1, \dots, L_n)$ ;  $R=(R_1, \dots, R_n)$ , при выполнении ряда естественных ограничений (см. формулу (8), в которой  $K_0$  – величина ОПФ предприятия,  $L_0$  – трудовые ресурсы предприятия,  $r'_j$  – рыночное предложение ресурса вида  $j$ ;  $Q_i$  – рыночный спрос на продукцию вида  $i$ ), а также соотношений (1)–(6):

$$\sum_i K_i \leq K_0, \quad \sum_i L_i \leq L_0, \\ r_j \leq r'_j \quad \forall j; \quad q_i \leq Q_i \quad \forall i; \quad (8)$$

$$K \geq 0, L \geq 0, R \geq 0.$$

В соответствии с базисными положениями экономической теории потенциалов в рамках направления, которого придерживается автор настоящего исследования [9, 11, 12, 19, 20, 21], экономический потенциал предприятия характеризует максимально возможную для предприятия, находящегося в определенном состоянии и функционирующего в определенных внешних условиях, чистую прибыль. В терминах оптимизационной модели (1)–(8) экономический потенциал предприятия (его величина)  $P_e$  определяется как решение соответствующей оптимизационной задачи, т.е.

$$P_e = \max_{K,L,R} P_n. \quad (9)$$

Из соотношений модели (1)–(8) следует, что потенциальная функция предприятия  $\Psi$ , характеризующая его экономический потенциал, есть функция учтенных в модели эндогенных параметров предприятия и параметров внешней среды. К параметрам состояния предприятия относятся такие параметры, как  $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, A_1, A_2, \alpha_{K1}, \alpha_{L1}, \alpha_{R1}, \alpha_{K2}, \alpha_{L2}, \alpha_{R2}, K, L, c_0$ . Обозначим вектор таких параметров через  $S$ . Множество экзогенных параметров образуют параметры  $c_{r1}, c_{r2}, c_{q1}, c_{q2}, c_L, r'_1, r'_2, Q_1, Q_2, \delta_L, \delta_P$ . Обозначим вектор параметров внешней среды через  $X$ . Таким образом потенциальная функция  $\Psi$  представляет собой функцию указанных параметров  $\Psi(S, X)$ , т.е. некоторое отображение пространства  $S \times X$  в

одномерное пространство  $P_e$ , и с математической точки зрения выражает зависимость оптимального значения целевой функции (7) от параметров  $S$  и  $X$  задачи оптимизации (1)–(8).

Как показано в работах [1, 4, 7, 8, 21], для анализа потенциальных функций предприятия, которые не представимы в аналитическом виде, целесообразно применение статистических методов, включающих процедуру "статистических испытаний" модели предприятия (поиск равновесного состояния) при различных комбинациях значений ее параметров и последующий анализ статистической выборки – статистического портрета потенциальной функции.

В силу высокой размерности пространства  $S \times X$ , определенного экономического содержания эндогенных и экзогенных параметров, а также уровня (величины) экономического потенциала, практический интерес представляет задача выяснения типовых условий и соответствующих им типовых откликов потенциальной функции. В самом деле, зонирование области внешних условий по уровню экономического потенциала позволяет выявить зоны риска, ранжировать эти зоны по степени риска, а с учетом прогнозов внешних условий, оценить степень актуальности принятия тех или иных мер по минимизации наиболее вероятных рисков в будущем. Зонирование области параметров состояния предприятия по уровню экономического потенциала, в свою очередь, позволяет подвести научную базу под решение задачи выбора перспективных направлений и, прежде всего целей, развития предприятия, предоставляя разработчикам стратегии развития предприятия сведения о том, изменение каких параметров предприятия может обеспечить наибольший рост экономического потенциала предприятия.

Очевидно, результатом статистических испытаний модели предприятия (1)–(8) является некая статистическая выборка в пространстве  $S \times X \times P_e$ , т.е. конечное множество наборов векторов типа  $(s, x, p_e)$ , где  $s \in S, x \in X, p_e \in P_e$ . Пусть размер такой выборки равен  $N$ .

Как показали исследования, опубликованные в [7], несмотря на "зондирование" многомерной прямоугольной области возможных значений параметров модели предприятия в соответствии с равномерным законом распределения, закон распределения решения задачи, т.е. величины экономического потенциала, существенно отличается от равномерного. Объяснение этого феномена лежит в области природы модели предприятия и связано с ее оптимизационным характером, обусловленным наличием возможности у предприятия подбирать (путем выбора соответствующих значений управляющих переменных) оптимальный режим функционирования для каждого сочетания внешних условий. Тем самым предприятию удастся минимизировать влияние внешних факторов в пределах, определяемых устройством предприятия и его текущим состоянием – состоянием эндогенных параметров, существенно снижая вариабельность результирующего признака – экономического потенциала.

Задача выделения однородных совокупностей в статистических выборках обычно решается методами кластеризации. Формально в рассматриваемом случае есть возможность группирования векторов  $(s, x, p_e)$  в пространствах  $S, X, S \times X, S \times P_e, X \times P_e$  и  $S \times X \times P_e$ . С учетом отмеченного выше характера статистических испытаний модели предприятия (табулирования потенциальной функции) экономический смысл имеет кластерный анализ векторов  $(s, p_e), (x, p_e)$  и  $(s, x, p_e)$ , который позволяет увязать типовые состояния предприятия, внешних условий, комбинации тех и других с типовыми откликами потенциальной функции.

Для решения этой задачи предлагается следующий алгоритм классификации многомерных векторов в заранее неизвестное число классов, относящийся к числу итеративных эвристических алгоритмов, включающий следующие основные процедуры.

Пусть  $u$  – вектор в  $n$ -мерном пространстве;  $m$  – количество наблюдений (количество векторов);  $m^*$  – искомое число классов,  $m^* \leq m$ ;  $i$  – номер итерации процесса группирования.

*Шаг 1. Формирование исходной группировки ( $i=1$ ).*

На этом шаге формируется группировка  $G^1$ , состоящая из  $m^1=m$  одноэлементных классов  $G_1^1, \dots, G_m^1$  по числу векторов наблюдений ( $M^1$  – множество индексов классов текущей группировки;  $G_i^1$  – множество индексов векторов наблюдений, входящих в состав класса  $i, i \in M^1$ ). Обозначим через  $c_l^1$  – вектор центра класса  $l$ , а через  $k_l^1$  – количество элементов в этом классе. Здесь и далее верхний индекс обозначает номер итерации процесса группирования.

*Шаг 2. Определение матрицы расстояний  $D$  между векторами наблюдений ( $i=1$ ).*

В качестве меры сходства двух векторов  $m'$  и  $m''$  использовано взвешенное евклидово расстояние:

$$D = \|d_{m'm''}\|, \quad d_{m'm''} = \sqrt{\beta_j^2 (u_{m'}^j - u_{m''}^j)^2}, \quad (10)$$

где  $d_{m'm''}$  – расстояние между указанными векторами;  $\beta_j$  – весовой коэффициент  $j$ -й компоненты ( $j$ -го признака) вектора наблюдений.

*Шаг 2'. Определение матрицы расстояний  $D^i$  между классами (итерация  $i \geq 2$ ).*

Расстояние  $d_{s's''}^i$  между двумя произвольными классами  $G_s^i$  и  $G_{s''}^i$  определяется по методу

межгруппового среднего связывания как среднее расстояний между всеми парами векторов, один из которых принадлежит классу  $G_{s'}^i$ , а второй – классу  $G_{s''}^i$ .

$$d_{s's''}^i = \frac{1}{k_{s'}^i \cdot k_{s''}^i} \cdot \sum_{m' \in s', m'' \in s''} d_{m'm''}^i, \quad (11)$$

С учетом (11) имеем

$$D^i = \|d_{s's''}^i\|. \quad (12)$$

*Шаг 3. Определение суммы расстояний внутри классов.*

Сумма указанных расстояний  $d_1^i$  характеризует тесноту связи внутри классов и для классификации  $G^i$ ,  $i \geq 1$ , определяется следующим образом:

$$d_1^i = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k \in M^i} \sum_{m', m'' \in G_k^i} d_{m'm''}^i. \quad (13)$$

*Шаг 4. Определение суммы расстояний (тесноты связи) между классами.*

Показатель тесноты связи между классами  $d_2^i$  с учетом (11) определяется по формуле

$$d_2^i = \sum_{s', s'' \in M^i} d_{s's''}^i. \quad (14)$$

*Шаг 5. Оценка показателя качества классификации.*

В роли показателя качества классификации, полученной на  $i$ -й итерации, используется линейная комбинация суммы расстояний внутри классов и суммы расстояний между классами:

$$d^i = \delta \cdot d_1^i + (1 - \delta) \cdot d_2^i. \quad (15)$$

Наилучшей считается классификация  $i^*$ , для которой выполняется условие

$$\min_i (d^i) = d^{i^*}. \quad (16)$$

Такой критерий группировки, как это следует из его конструкции, позволяет найти оптимальный баланс между теснотой связи внутри классов и теснотой связи между классами.

*Шаг 6. Принятие решения о продолжении процесса группирования.*

Предположим, что на итерации  $i$  получена группировка  $G^i = (G_1^1, \dots, G_{m^i}^1)$ . Если  $i=1$  или  $d^i < d^{i-1}$ , то осуществляется переход к выполнению процедуры, предусмотренной шагом 7. Если  $d^i \geq d^{i-1}$ , процесс группировки прекращается, и оптимальной считается группировка  $G^{i-1}$ .

*Шаг 7. Объединение классов (формирование группировки  $G^{i+1}$ ).*

Слиянию подлежат классы  $\bar{s}'$  и  $\bar{s}''$ , для которых выполняется условие

$$d_{\bar{s}'\bar{s}''}^i = \min_{s', s'' \in M^i} \{d_{s's''}^i\}. \quad (17)$$

В процессе слияния уменьшается количество классов в группировке на единицу; объединяются множества индексов векторов  $G_{s'}^i$  и  $G_{s''}^i$  указанных классов в одно множество, количество элементов которого равно сумме числа элементов указанных множеств; определяются координаты центра объединенного класса.

Осуществляется переход на выполнение процедуры, предусмотренной шагом 2'.

В предложенном алгоритме, таким образом, предусмотрена возможность задания весов признаков векторов наблюдений, позволяющая в предельном случае (при использовании для ряда признаков нулевых весов, формула (10)) проводить группировку векторов наблюдений по произвольному подмножеству признаков, а также возможность влиять на итоговое количество классов за счет изменения значимости вклада показателей тесноты связи внутри классов и между ними в интегральный показатель качества группировки (формула (15)). Вторая возможность особенно полезна при группировании большого числа векторов наблюдений плохо структурированной выборки.

Указанный алгоритм реализован в среде Matlab и апробирован на задаче анализа потенциальной функции модельного предприятия (1)–(8) с числовыми параметрами, приведенными в табл. 1. Численная модель с такими параметрами исследована автором в работе [7] с применением других методических подходов, что обеспечивает сравнимость результатов обоих исследований.

В данной числовой модели предприятие располагает двумя технологическими способами производства и, следовательно, производит два вида продукции, для чего использует два вида материальных ресурсов, состояние предприятия характеризуется пятнадцатью параметрами, а состояние внешней среды – одиннадцатью. Таким образом вектор наблюдений  $(s, x, p_e)$  в процедуре статистических испытаний имеет размерность 27.

Таблиця 1

Численные параметры модели предприятия, [7]

Параметры предприятия	Значение	Параметры внешней среды	Значение
$a_{11}; a_{12}$	1; 2	$c_{r1}; c_{r2}$	1; 2
$a_{21}; a_{22}$	3; 1	$c_{q1}; c_{q2}; c_L$	5; 3; 1
$A_1; A_2$	5; 4	$r'_1; r'_2$	100; 75
$\alpha_{K1}, \alpha_{L1}, \alpha_{R1}$	0,3; 0,2; 0,4	$Q_1, Q_2$	50; 40
$\alpha_{K2}, \alpha_{L2}, \alpha_{R2}$	0,3; 0,5; 0,2	$\delta_L$	0,30
$K; L; c_0$	100; 50; 50	$\delta_p$	0,15

Как и в исследовании [7] статистические испытания модели (1)–(8) проводились методом Монте-Карло с варьированием случайным образом с равномерным распределением значений параметров модели в диапазоне  $\pm 20\%$  от значений, приведенных в табл. 1. Размер статистической выборки был принят равным 300, что позволило составить статистический портрет потенциальной функции исследованной модели в виде набора, включающего 300 векторов наблюдений, характеризующихся 27-ю признаками.

Поиску группировки, отвечающей критерию (16), предшествовала нормировка значений всех признаков векторов наблюдений на отрезке  $[0, 1]$  с применением следующей формулы:

$$x_{norm} = \frac{(x - x_{min})}{(x_{msx} - x_{min})}. \tag{18}$$

В качестве результата исследования, заслуживающего первоочередного внимания, следует отметить характер распределения величины экономического потенциала, которая в силу случайного формирования выборки значений параметров модели (1)–(8) также является случайной величиной. Несмотря на применение равномерного закона распределения при формировании комбинаций параметров модели, распределение значений уровня экономического потенциала модельного предприятия оказалось близким нормальному закону (см. рис. 1), что хорошо согласуется с типичными условиями проявления этого закона распределения.

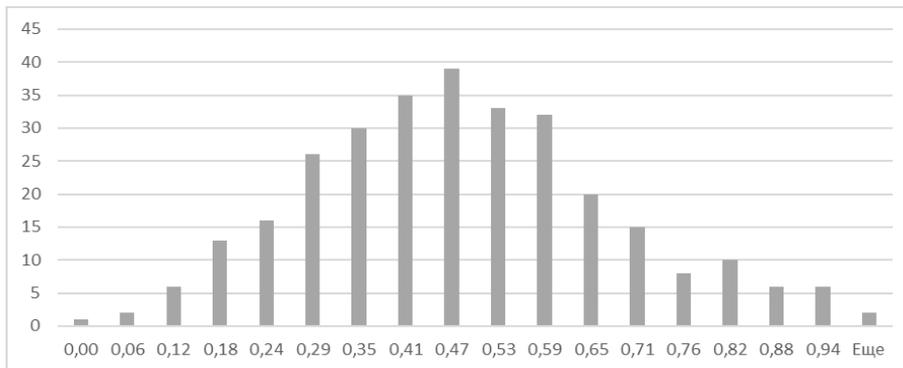


Рис. 1. Частоты величины экономического потенциала

Классификация векторов наблюдений только по величине потенциала позволила получить группировку, содержащую 27 классов (рис. 2). На этой диаграмме, как и на всех последующих диаграммах, классы отсортированы по величине математического ожидания уровня экономического потенциала в порядке возрастания слева направо. Сравнение этой диаграммы с диаграммой рис. 1 обнаруживает наличие более выраженной дифференциации классов по численности во втором случае.

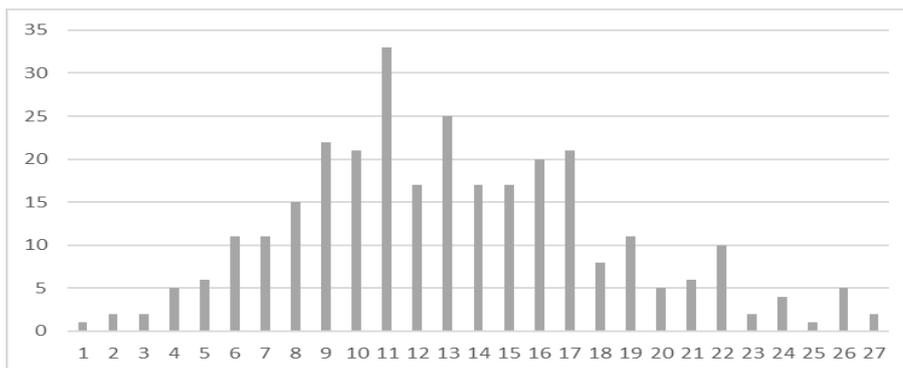


Рис. 2. Численность классов в группировке по величине потенциала

Классификация исходной совокупности векторов по множеству эндогенных и экзогенных параметров позволила выделить 53 класса относительно однородных комбинаций параметров модели предприятия с большим разбросом численности классов (рис. 3), что можно объяснить небольшой выборкой и особенностями алгоритма генерации псевдослучайных чисел, равномерно распределенных на отрезке  $[0, 1]$ .

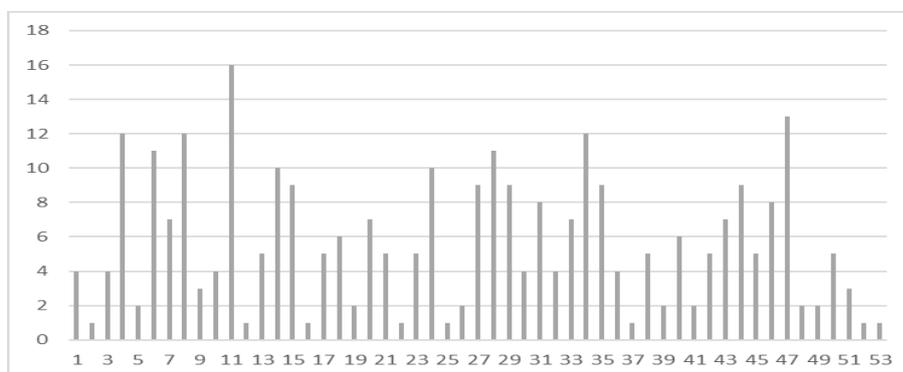


Рис. 3. Численность классов в группировке по множеству эндогенных и экзогенных параметров

Классификация векторов наблюдений по всем признакам привела к группировке, идентичной предыдущей, что можно объяснить доминированием числа факторов над числом результирующих признаков. Для устранения влияния числа признаков, соответствующих эндогенным и экзогенным параметрам (таких признаков, как отмечалось выше, в рассматриваемой модели 26) вес показателя экономического потенциала был принят равным 26-ти при единичных весовых коэффициентах прочих признаков. Это позволило получить группировку, состоящую из 43-х классов.

Поскольку конечной целью исследования потенциальных функций с помощью методов автоматической классификации является выделение типовых откликов функций модельного предприятия при типовых значениях параметров модели, а большое число отвечающим этим условиям классов существенно усложняет задачу качественного анализа и разработки практических рекомендаций для управленческого персонала, то был проведен ряд группировок с последовательно увеличиваемым весом ("штрафом") показателя тесноты связей между классами  $d_2$  (формула (15)). В результате таких исследований было установлено, что с ростом величины штрафа, налагаемого на связи между классами, количество классов в группировке снижается, однако при этом снижается и уровень дифференциации самих классов, что является нежелательным для целей анализа.

С иллюстративными целями в качестве примера была выбрана группировка (см. рис. 4), состоящая из 36-и классов и с ярко выраженной дифференциацией численности классов, позволяющая наглядно продемонстрировать, какие особенности потенциальной функции предприятия позволяет выявить методический подход, основанный на методах классификации в заранее неизвестное число классов. При этом будем полагать, что текущее состояние всех параметров модели предприятия соответствует значениям, приведенным в табл. 1, т.е. центру многомерного параллелепипеда возможных значений параметров.

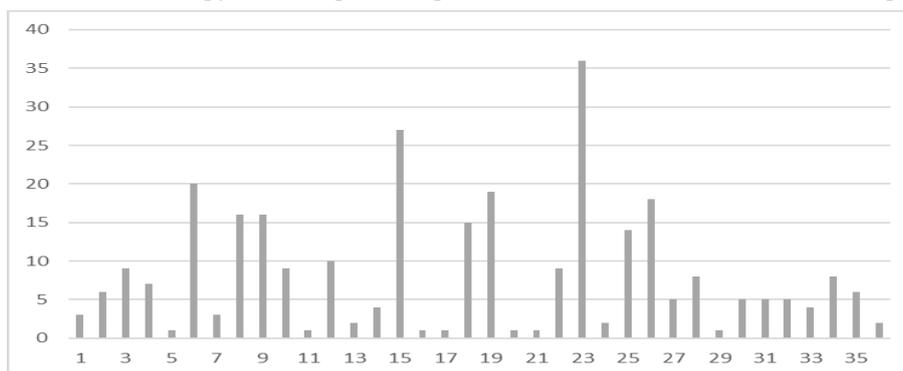


Рис. 4. Численность классов группировки по всем признакам со "штрафом" связей между классами

На диаграмме рис. 4 хорошо видно, что в области наихудших значений экономического потенциала предприятия по численности выделяются классы 3, 6, 8 и 9, в области средних значений – классы 15 и 23, а в области наилучших условий – классы 34, 35 и 36. Анализ координат центров указанных классов позволяет обнаружить следующее.

Для класса № 3 низкий уровень экономического потенциала определяется (неблагоприятными) низкими (ниже среднего уровня, равного 0,5) значениями параметров  $\alpha_{L2}$ ,  $c_{q1}$ ,  $c_{q2}$ ,  $Q_1$ , благоприятным значением параметра  $a_{12}$  и средних значениях прочих параметров.

То же справедливо и для класса № 6. Кроме того в этом классе низкое значение имеет также и параметр  $A_2$ .

Такие характеристики указанных классов свидетельствуют о том, что наиболее критичными с точки зрения возможностей генерировать чистый доход для данного предприятия являются ценовая конъюнктура рынка продукции и спрос на продукцию первого вида.

Класс № 8 характеризуется низкими значениями показателей  $c_{q1}$ ,  $Q_2$ ,  $A_1$ ,  $\alpha_{K1}$ ,  $\alpha_{R1}$ , благоприятными значениями параметров  $a_{12}$ ,  $a_{22}$  при средних значениях прочих параметров.

В классе № 9 низкие значения имеют параметры  $c_{q1}$ ,  $Q_1$ ,  $r'_2$ ,  $A_2$ ,  $\alpha_{R2}$ , благоприятные значения – параметр  $c_{r2}$ , средние значения – прочие параметры.

Анализ параметров этих классов к числу критических факторов добавляет низкий спрос на второй вид продукции и, таким образом, конъюнктуру рынка продукции предприятия в целом, низкий уровень общей факторной производительности производства обеих технологий и невысокую эластичность по ряду производственных факторов.

Характерные для области низкого экономического потенциала критические параметры указывают на потенциальные цели, достижение которых позволило бы уменьшить риски снижения доходности предприятия при соответствующем изменении конъюнктуры рынка продукции. Такими целями является, прежде всего, ослабление негативной зависимости предприятия от состояния рынка продукции, которое возможно за счет проведения определенных маркетинговых мероприятий либо мероприятий по совершенствованию номенклатуры выпускаемой продукции, а также поддержание эффективности использования определенных факторов производства на достигнутом уровне.

Условия классов № 15 и № 21, в которых предприятие может демонстрировать близкий к среднему уровень экономического потенциала, характеризуются низким уровнем запасов ресурса первого вида ( $r'_1$ ) и низким значением технологического коэффициента первой технологии ( $A_1$ ), а также относительно низким (благоприятным) уровнем цен на ресурс второго вида ( $c_{r2}$ ) при средних значениях прочих параметров.

Такие характеристики этих классов условий указывают на то, что для сохранения текущего среднего уровня экономического потенциала менеджмент предприятия должен следить за поддержанием состояния запасов критических ресурсов, показателями эффективности первой технологии и стремиться, за счет осуществления соответствующих маркетинговых мероприятий, к снижению цен на ресурс второго вида.

Высокий уровень экономического потенциала (классы № 34-36) модельное предприятие может демонстрировать при низких ценах ( $c_{r1}$ ,  $c_{r2}$ ) и низком удельном расходе ресурса первого вида ( $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ) при производстве обоих видов продукции, высоком уровне цен ( $c_{q1}$ ,  $c_{q2}$ ) и спроса на продукцию предприятия обоих видов ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ), больших значениях технологического коэффициента первой технологии ( $A_1$ ) при прочих значениях параметров, отвечающих среднему либо выше среднего уровню. При этом предприятие сохраняет высокий экономический потенциал при некоторых неблагоприятных факторах. Так для условий классов № 34 и № 36 допустимым является низкая численность персонала ( $L$ ); для класса № 35 – низкий уровень наличия, а следовательно и использования, основного капитала ( $K$ ) и низкая эластичность выпуска второй технологии по ресурсам ( $\alpha_{R2}$ ); для класса № 36 – низкий запас ресурса первого вида ( $r'_1$ ), низкая эластичность выпуска продукции первого вида по ресурсам ( $\alpha_{R1}$ ) и выпуска продукции второго вида по труду ( $\alpha_{L2}$ ).

Как и в предыдущих случаях, параметры рассматриваемых классов следует рассматривать как критические точки приложения сил менеджмента для обеспечения роста экономического потенциала предприятия.

Сравнение результатов анализа потенциальной функции модельного предприятия, проведенного с применением методов классификации статистической выборки потенциальной функции в заранее неизвестное число классов, с результатами корреляционного и регрессионного анализа, изложенного в статье [7], указывает на их существенное различие по степени детализации. Так, в частности, по результатам корреляционного анализа к критическим факторам в цитируемой работе были отнесены только параметры  $c_{q1}$ ,  $c_{q2}$  и  $Q_1$  с невысокими значениями коэффициентов корреляции с величиной экономического потенциала 0,699, 0,312 и 0,573 соответственно. Последующий регрессионный анализ позволил автору исследования [7] к числу существенных признаков отнести параметры  $c_{q1}$ ,  $c_{q2}$ ,  $Q_1$  и  $Q_1$  с коэффициентами регрессии 0,625, 0,292, 0,487 и 0,211 соответственно. В отличие от этого с помощью алгоритма автоматической классификации возможно решение задачи зонирования области возможных условий с учетом всей гаммы факторов и определение в каждой из них типовых комбинаций негативных, нейтральных и позитивных условий, которые могут служить основанием для выработки целей повышения эффективности предприятия и его развития.

**Выводы.** Статистические методы многомерного анализа являются одним из возможных инструментов исследования свойств потенциальных функций предприятий, что обусловлено оптимизационной природой потенциалов как признаков предприятия и целесообразностью исследования потенциальных функций на основе анализа соответствующих экономико-математических моделей предприятия оптимизационного типа.

Применение для этих целей методов корреляционного, факторного и регрессионного анализа позволяет выделить критические факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на величину экономического потенциала, однако результаты такого анализа носят достаточно общий характер, ограничены по своему содержанию (указывая преимущественно только на наличие их статистической связи с величиной потенциала в рамках простых формальных предположений) и по возможностям дальнейшего использования в задачах управления.

Методы автоматической классификации множества векторов возможных эндогенных и экзогенных параметров предприятия совместно с характерным для них уровнем потенциала предприятия позволяют провести зонирование области таких условий, выделить специфические особенности каждой из них и типовые реакции (уровнем потенциала) на них предприятия. Такие представления о свойствах потенциальных функции предприятия при наличии прогнозов (возможных сценариев) развития внешних условий его функционирования позволяют ставить задачи по развитию предприятия (изменению его эндогенных параметров), обеспечивающему минимизацию негативного влияния изменения внешней среды в частности и повышению потенциала предприятия в целом.

Предложенный алгоритм классификации многомерных векторов в заранее неизвестное число групп рассчитан на работу с большими массивами данных, обладает рядом важных для экономических исследований настраиваемых параметров, характеризуется быстротой вычислений и демонстрирует способность построения содержательных с экономической точки зрения группировок векторов наблюдений.

### Литература

1. Алёхин А.Б. Анализ динамики потенциала предприятий с применением математического моделирования и статистических методов / А.Б. Алёхин, А.Б. Брутман // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2014. – № 3, Т. 4. – С. 12–17.
2. Алёхин А.Б. Жизнеспособность промышленных предприятий: формализация и оценка / А.Б. Алёхин // Вісник Маріупольського державного університету. Серія "Економіка". – 2012. – Вип. 3. – С. 22–31.
3. Алёхин А.Б. Измерение жизнеспособности предприятия как задача принятия решений в условиях неопределенности (математические интерпретации) / А.Б. Алёхин, Н.Н. Ванина // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2012. – № 5, Т. 1. – С. 11–18.
4. Алёхин А.Б. Обобщенные признаки предприятий, регионов и национальных экономик: проблема измерения и новые подходы / А.Б. Алёхин // Економіст. – 2011. – № 8. – С. 24–29.
5. Брутман А.Б. Конкурентоспособность предприятий: оценка на основе их потенциалов : монография / Брутман А.Б. – Запорожье : ООО "ЛИПС" ЛТД, 2012. – 220 с.
6. Карапейчик И.Н. Анализ влияния эндогенных факторов на потенциал промышленного предприятия / И.Н. Карапейчик // Уральский научный вестник. – 2013. – № 6 (59). – С. 44–57.
7. Карапейчик И.М. Кількісний аналіз потенційної функції підприємства з урахуванням комплексної дії ендогенних та екзогенних факторів / І.М. Карапейчик // Держава та регіони. – 2013. – № 4 (73). – С. 75–82.
8. Карапейчик И.Н. Количественная оценка экономического потенциала промышленного предприятия (на примере ПАО «Азовмаш») / И.Н. Карапейчик // Уральский научный вестник. – 2014. – № 13(92). – С. 97–107.
9. Карапейчик И.Н. Понятие потенциала в экономике: общая концепция [Электронный ресурс] / И.Н. Карапейчик // Ефективна економіка. – 2011. – № 12. – Режим доступа : <http://www.economy.nayka.com.ua/index.php?op=1&z=820>.
10. Карапейчик И.Н. Оценка инновационного потенциала машиностроительных предприятий : монография / Карапейчик И.Н. – Мариуполь : "Новый мир", 2011. – 184 с.
11. Карапейчик И.Н. Понятие потенциала в экономике: задачи и направления исследований / И.Н. Карапейчик // Актуальні проблеми економіки. – 2012. – № 7 (133). – С. 16–25.
12. Карапейчик И.Н. Понятие производственной мощности предприятия как модель понятия инновационного потенциала / И.Н. Карапейчик // Економіка: проблеми теорії та практики : зб. наук. праць : статті. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 256, Т. 1. – С.197–203.
13. Карапейчик И.Н. Потенциальные функции и задача систематизации потенциалов в экономике / И.Н. Карапейчик // Інноваційні економіка. – 2012. – № 4(30). – С. 9–15.
14. Диленко В.А. Математические модели формирования и анализа экономического потенциала / В.А. Диленко, О.В. Захарова // Проблемы развития внешнеэкономических связей и привлечения иностранных инвестиций: региональный аспект : сб. науч. тр. : статьи. – Донецк, 2009. – С. 202–208.
15. Диленко В.А. Экономико-математическое моделирование инновационных процессов : монография / В.А. Диленко. – 2-е изд., измененное и доп. – Одесса : Фенікс, 2013. – 348 с.
16. Савчук С.И. Основы теории конкурентоспособности / Савчук С.И. – Мариуполь : ИПРЭЭИ НАН Украины, Рената, 2007. – 520 с.
17. Савчук С.И. Уровень конкурентоспособности предприятий: новый методический подход к оценке / С.И. Савчук // Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління : зб. наук. праць. – Одеса, 2004. – Т. 7, Вип. 8. – С. 340–346.

18. Карапейчик И.Н. Потенциальные функции и задача систематизации потенциалов в экономике / И.Н. Карапейчик // *Інноваційна економіка*. – 2012. – № 4(30). – С. 9–15.
19. Шпак С.А. Теоретические основания стратегического управления реструктуризацией предприятий на основе потенциалов / С.А. Шпак // *Бизнес Информ*. – 2017. – № 4. – С. 347–356.
20. Шпак С.А. Потенциалы как объекты стратегического управления развитием промышленных предприятий / С.А. Шпак // *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. – 2017. – № 4. – С. 238–245.
21. Alyokhin A.B. Economic theory of potential. Quasi axiomatic approach to modeling and measurement / A.B. Alyokhin, A.B. Brutman // *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. – 2015. – № 3, Т. 2. – С. 91–105.

### References

1. Alekhin A.B. Analiz dinamiki potentsiala predpriyatiy s primeneniem matematicheskogo modelirovaniya i statisticheskikh metodov / A.B. Alekhin, A.B. Brutman // *Herald of Khmelnytskyi National University. Economical Sciences*. – 2014. – № 3, Т. 4. – С. 12-17.
2. Alekhin A.B. Zhiznesposobnost' promyshlennykh predpriyatiy: formalizatsiya i otsenka / A.B. Alekhin // *Visnyk Mariupol'skogo derzhavnogo universytetu. Seriya "Ekonomika"*. – 2012. – Vyp. 3. – С. 22-31.
3. Alekhin A.B. Izmerenie zhiznesposobnosti predpriyatiya kak zadacha prinyatiya resheniy v usloviyakh neoprede-lennosti (matematicheskie interpretatsii) / A.B. Alekhin, N.N. Vanina // *Herald of Khmelnytskyi National University. Economical Sciences*. – 2012. – № 5, Т. 1. – С. 11-18.
4. Alekhin A.B. Obobshchennye priznaki predpriyatiy, regionov i natsional'nykh ekonomik: problema izmereniya i novye podkhody / A.B. Alekhin // *Ekonomist*, 2011. – № 8. – С. 24-29.
5. Brutman A.B. Konkurentosposobnost' predpriyatiy: otsenka na osnove ikh potentsialov : monografiya / Brutman A.B. – Zaporozh'e: OOO "LIPS" LTD, 2012. – 220 s.
6. Karapeychik I.N. Analiz vliyaniya endogennykh faktorov na potentsial promyshlennogo predpriyatiya / I.N. Ka-rapeychik // *Ural'skiy nauchnyy vestnik*. – 2013. – № 6 (59). – С. 44-57.
7. Karapeychik I.M. Kil'kisnyy analiz potentsijnoi' funktsii' pidprijemstva z urahuvannjam kompleksnoi' dii' endogennykh ta ekzogennykh faktoriv / I.M. Karapeychik // *Derzhava ta regiony*. – 2013. – № 4 (73). – С. 75-82.
8. Karapeychik I.N. Kolichestvennaya otsenka ekonomicheskogo potentsiala promyshlennogo predpriyatiya (na pri-mere PAO «Azovmash») / I.N. Karapeychik // *Ural'skiy nauchnyy vestnik*. – 2014. – № 13(92). – С. 97-107.
9. Karapeychik I.N. Ponyatie potentsiala v ekonomike: obshchaya kontseptsiya / I.N. Karapeychik // *Efektivna ekonomika*. – 2011. – № 12. – Rezhim dostupa k zhurn. : <http://www.economy.nayka.com.ua/index.php?op=1&z=820>.
10. Karapeychik I.N. Otsenka innovatsionnogo potentsiala mashinostroitel'nykh predpriyatiy : monografiya / Karapeychik I.N. – Mariupol': "Novyy mir", 2011. – 184 s.
11. Karapeychik I.N. Ponyatie potentsiala v ekonomike: zadachi i napravlenniya issledovaniy / I.N. Karapeychik // *Aktual'ni problemy ekonomiky*, 2012. – № 7 (133). – С. 16-25.
12. Karapeychik I.N. Ponyatie proizvodstvennoy moshchnosti predpriyatiya kak model' ponyatiya innovatsionnogo potentsiala / I.N. Karapeychik // *Ekonomika: problemy teorii' ta praktyky: Zbirnyk naukovykh prac'*. – Dnipropetrov'sk, 2009. – Vyp. 256, Т. 1. – С.197-203.
13. Karapeychik I.N. Potentsial'nye funktzii i zadacha sistematzatsii potentsialov v ekonomike / I.N. Karapeychik // *Innovacijni ekonomika*. – 2012. – № 4(30). – С. 9-15.
14. Dilenko V.A. Matematicheskie modeli formirovaniya i analiza ekonomicheskogo potentsiala // *Problemy razvitiya vneshneekonomicheskikh svyazey i privlecheniya inostrannykh investitsiy: regional'nyy aspekt : sb. nauch. tr. : stat'i* / V.A. Dilenko, O.V. Zakharova. – Donetsk, 2009. – С. 202-208.
15. Dilenko V.A. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie innovatsionnykh protsessov : monografiya. – 2-e izd., izmenennoe i dop. / V.A. Dilenko. – Odessa : Feniks, 2013. – 348 s.
16. Savchuk S.I. Osnovy teorii konkurentosposobnosti / Savchuk S.I. – Mariupol': IPREEI NAN Ukrainy, Renata, 2007. – 520 s.
17. Savchuk S.I. Uroven' konkurentosposobnosti predpriyatiy: novyy metodicheskyy podkhod k otsenke / S.I. Savchuk // *Rynkova ekonomika: suchasna teoriya i praktyka upravlinnja : zb. nauk. prac'*. – Odesa, 2004. – Т. 7, Vyp. 8. – С. 340-346.
18. Karapeychik I.N. Potentsial'nye funktzii i zadacha sistematzatsii potentsialov v ekonomike / I.N. Karapeychik // *Innovacijni ekonomika*. – 2012. – № 4(30). – С. 9-15.
19. Shpak S.A. Teoreticheskie osnovaniya strategicheskogo upravleniya restrukturizatsiey predpriyatiy na osnove potentsialov / S.A. Shpak // *Biznes Inform*. – 2017. – № 4. – С. 347-356.
20. Shpak S.A. Potentsialy kak ob"ekty strategicheskogo upravleniya razvitiem promyshlennykh predpriyatiyami / S.A. Shpak // *Herald of Khmelnytskyi National University. Economical Sciences*. – 2017. – № 4. *Ekonomichni nauky* – С. 238-245.
21. Alyokhin A.B. Economic theory of potential. Quasi axiomatic approach to modeling and measurement / A.B. Alyokhin, A.B. Brutman // *Herald of Khmelnytskyi National University. Economical Sciences*. – 2015. – № 3, Т.2. – С. 91-105.

Рецензія/Peer review : 03.05.2018

Надрукована/Printed : 02.06.2018