

К вопросу выбора модели финансирования инновационных технологий химической переработки угля во Внутренней Монголии Китая

Чжан Яньцзе^a, Ю.А. Скоробогатова^b

Байкальский государственный университет, ул. Ленина, 11, Иркутск, Россия

^a zhangyanjie@mail.ru, ^b skorobogatovaya@bgu.ru

Статья поступила 09.06.2022, принята 14.03.2023

В статье представлен системный подход к распределению финансовых ресурсов, способствующий оптимальному выбору эффективной инновационной углехимической технологии с использованием метода нечеткого многокритериального программирования. Кластерный анализ позволил ранжировать углехимические технологии методом нечеткой многокритериальной оптимизации. В качестве факторов влияния использованы индекс относительной силы (RSI), коэффициент вариации (CV), доходность от внедрения технологии (EY) и коэффициент роста цены к прибыли (коэффициент PEG). Показано, что поведение инвесторов и руководителей производств играет важную роль при выборе технологий, поскольку предпочтения каждого из них имеют свой оригинальный подход (стиль) в принятии управленческих решений. Выделены три категории инвесторов: создатели денег, любители ликвидности и инвесторы, не склонные к риску, в соответствии с их инвестиционной топологией. Использование математической модели позволяет определить результаты с учетом коэффициента вариации, указывающего на компромисс между риском и доходностью.

Ключевые слова: углехимическая технология; модернизация производства; портфель инвестиционных технологий; кластеризация; многокритериальное программирование.

On the question of choosing funding models for innovative technologies for the chemical processing of coal in China's Inner Mongolia

Zhang Yanjie^a, Yu.A. Skorobogatova^b

Baikal State University, 11, Lenin St., Irkutsk, Russia

^a zhangyanjie@mail.ru, ^b skorobogatovaya@bgu.ru

Received 09.06.2022, accepted 14.03.2023

The article presents a systematic approach to the distribution of financial resources, which contributes to the optimal choice of an effective innovative coal-chemical technology using the method of fuzzy multi-criteria programming. Cluster analysis made it possible to rank coal-chemical technologies using the fuzzy multicriteria optimization method. Relative strength index (RSI), coefficient of variation (CV), profitability from technology implementation (EY) and price-to-earnings growth ratio (PEG coefficient) were used as influence factors. It is shown that the behavior of investors and production managers plays an important role in the choice of technologies, since the preferences of each of them have their own original approach (style) in making managerial decisions. Three categories of investors are distinguished: money creators, liquidity lovers and risk-averse investors, according to their investment topology. Using a mathematical model allows you to determine the results, taking into account the coefficient of variation, indicating a trade-off between risk and return.

Keywords: coal-chemical technology; production modernization; portfolio of investment technologies; clustering; multicriteria programming.

В условиях энергетического кризиса инновации в угольную промышленность требуют отказа от традиционной концепции использования угля и диктуют необходимость сосредоточиться не только на его добыче, но и на технологиях переработки. Однако в этот период эти вопросы почти не рассматривались. Лишь немногие исследовате-

ли обращали внимание на инновации, которые предлагалось использовать в рамках интегрированного жизненного цикла.

Уголь как сырье все еще будет активно использоваться в нынешнем его статусе. Во-первых, потому что водородная энергия является лучшим вторичным чистым энергоносителем, а превра-

щение угля в этот теплоноситель остается самым дешевым вариантом его переработки в обозримом будущем.

Во-вторых, подземная газификация угля (*UCG*) первоначально использовалась лишь для того, чтобы решить проблемы глубокой добычи и переработки сырья (угля). В настоящее время стоит острая проблема в использовании эффективных и экологически чистых инновационных технологий его преобразования. В частности, в синтез газа, который может быть использован для производства электроэнергии.

В сочетании с новыми технологиями можно достичь лучшего эффекта в смягчении воздействия CO_2 на окружающую среду. Поэтому для обеспечения энергетической безопасности и достижения «углеродной нейтральности» инновации в углекислотную промышленность Китая особенно важны.

Выбор подобных эффективных производственных технологий представляет собой проблему как для инвесторов, так и для руководителей бизнеса. Актуальным становится системный подход к распределению финансовых ресурсов, предполагающий использование комбинаций нескольких вариантов для выбора эффективной инновационной углекислотной технологии.

Кластерный анализ и процедура аналитической иерархии в этом направлении позволяют облегчить ранжирование активов методом нечеткого многокритериального линейного программирования [1].

В качестве факторов влияния можно использовать индекс относительной силы (*RSI*), коэффициент вариации (*CV*), доходность от внедрения технологии (*EY*) и коэффициент роста цены к прибыли (коэффициент *PEG*), а также коэффициент риска и доходности [2].

Используя метод нечеткого многоцелевого линейного программирования, оптимизацию выполним по 7-ми целевым функциям (доходность, риск, индекс относительной силы, коэффициент вариации, доходность от внедрения технологии, коэффициент роста и взвешенный балл аналитической иерархии) [3].

Это позволит решить многокритериальную проблему, используя «взвешенный адаптивный подход», в котором веса рассчитываются с помощью аналитической иерархии или выбора инвесторов и руководителей. Модель допускает выбор подобного решения [4].

Из-за неопределенности доходности в результате внедрения инноваций сложно выбрать ту или иную предлагаемую технологию. Цель выбора приемлемого портфеля технологий — это получение «точного» соотношения активов, чтобы

инвестор при этом получил максимальную прибыль с минимальным риском.

Портфель — это совокупность технологий, которыми предстоит управлять. Он включает различные их варианты, которыми может владеть или управлять отдельная промышленная компания [5]. Его разработка реализуется в соответствии с требованиями к устойчивости и риску во временных рамках, ориентируясь на инвестиционные цели.

С. Папахристодулу, Э. Доцауэр оценивали оптимальный портфель как лучший или наиболее благоприятный среди набора альтернатив и определили его (оптимальный портфель) как портфель, учитывающий собственную «жадность» и неприятие риска инвестора [6].

Задача оптимизации портфеля является важным аспектом в решении проблем, связанных с инвестициями и финансами. Неопределенность результатов может осложнить выбор, затронуть держателей портфелей и менеджеров, которые являются основными лицами, принимающими решения при распределении ресурсов по различным проектам [7].

Защита от рисков, связанных с повседневной жизнью, необходима для достижения определенного уровня «желания» и цели. В этих условиях следует определить размер инвестиций, которые должны быть распределены по каждому компоненту портфеля, чтобы максимизировать его доходность.

Х. Марковиц, решая проблему выбора портфеля, предложил модель средней дисперсии (*MV*), подтвердив тот факт, что инвестирование более чем в один актив менее рискованно, чем инвестирование в один [8].

П. Гупта спроектировал гибридный (системный) подход к выбору портфеля с использованием комбинации нескольких методик, таких как опрос поведения инвесторов, кластерный анализ, процесс аналитической иерархии и нечеткое математическое программирование [9].

Б. Перес-Каньедо предложил модель оптимизации портфеля с применением нейро-нечеткой структуры. В частности, нечеткий метод оптимизации портфеля, основанный на функции риска среднего абсолютного отклонения [10].

Обзор литературы выявил несколько недостатков алгоритма, используемого для кластеризации и масштабирования, поскольку он включает определение количества кластеров. Нами предпринята попытка использовать системный подход к выбору портфеля технологий с использованием нескольких методических подходов.

Для кластерного анализа необходимо выполнить алгоритм *X*-средних, который является расширенной версией кластеризации [11].

В рамках проведенного исследования включены некоторые новые функции для выбора технологий, такие как индекс относительной силы (*RSI*), коэффициент вариации (*CV*), доходность от внедрения технологии (*EY*) и коэффициент роста (коэффициент *PEG*), которые ранее не использовались в методах *AHP* [8].

Оптимизация выполняется с использованием нечеткого многокритериального программирования [12]. Для решения задачи используется пошаговая процедура, в которой выявляется модель поведения инвестора и руководителя производства. Ключевыми показателями выбора являются характеристики доходности, риска и ликвидности.

При выборе технологий необходимо учитывать некоторые более важные особенности, такие как индекс относительной силы, который оценивает текущие и исторические показатели от внедрения той или иной технологии; коэффициент вариации, позволяющий оценить значение нестабильности по отношению к доходности; доходность, которую компания получила; соотношение между ценой покупки технологии, прибылью в результате внедрения и ростом бизнеса, которое определяется отношением роста цены к прибыли [3].

У каждого инвестора свои подходы к выбору технологии. Тем не менее, они в основном соблюдают три показателя своей деятельности: доходность, риск и ликвидность. Поэтому и технологии

можно разделить на три группы с такими их качествами, как высокая доходность, минимальный риск и ликвидность.

Кластерный анализ — это метод, используемый для разделения данных на группы. Чтобы сформулировать кластеры, используем *X*-средние. В зависимости от предпочтений инвесторов разделим их на три кластера: инвесторы, которые готовы получать только более высокую прибыль; которые не заинтересованы в большем риске, даже если прибыль меньше; которые не выступают ни за более высокий риск, ни за низкую доходность, а хотят только надежных инвестиций.

Акции также отнесем к трем группам с такими показателями, как высокая доходность, минимальный риск и ликвидные акции.

Модель Т.Л. Саати представляет собой инструмент многокритериального принятия решений (*MCDM*) [13].

Разработка иерархической структуры, весовой анализ и доказательство непротиворечивости — три основных шага *AHP* для ранжирования объекта [14].

На рисунке показана четырехуровневая иерархическая структура *AHP*. Это позволяет сформировать матрицу парного сравнения для каждого критерия относительно его первоочередных критериев.



Рис. Иерархическая последовательность действий в процессе выявления перспективной углекислотной технологии

Каждый элемент оценочной матрицы A формируется по правилам: $a_{ij} > 0$, $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, $a_{ij} = 1$, когда $i = j$, для всех i, j .

Чтобы сравнить два элемента, принимается шкала от 1 до 9, которую приводит Т.Л. Саати.

Для матрицы A порядка n «нормализованный собственный» вектор называется вектором приоритета $Aw = \partial_{max}w$. Где w известен как вес объекта, который является наибольшим собственным значением матрицы A .

Индекс согласованности (CI) для каждой матрицы n -го порядка рассчитывается как:

$$CI = \frac{(\partial_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Коэффициент согласованности (CR) рассчитывается как $CR = \frac{CI}{RI}$, где RI – случайный индекс, определяемый порядком матрицы.

Матрица непротиворечива, если $CR \leq 0,1$.

Однако если $CR > 0,1$, тогда существуют несоответствия, и попарные сравнения нуждаются в пересмотре.

Метод нечеткого многокритериального программирования ($FMOLP$) обычно используется для оптимизации [10].

Важной проблемой выбора портфеля является определение ограничений [15].

Сформируем модель выбора портфеля.

Задача многокритериального выбора портфеля с целевыми функциями, как доходность, риск, индекс относительной силы, коэффициент вариации, доходность, отношение роста и вес AHP и некоторые обозначения вводятся следующим образом:

r_i : возврат от внедрения i -й углекислотной технологии,

x_i : доля общего фонда, вложенного в i -ю углекислотную технологию,

b_i : бинарная переменная, указывающая, содержится ли i -я углекислотная технология в портфеле или нет,

k_i : риск i -й от внедрения углекислотной технологии,

R_i : индекс относительной силы i -й углекислотной технологии,

C_i : коэффициент вариации i -го запаса,

w_{AHPi} : вес приклада в AHP i -й углекислотной технологии,

E_i : доходность i -й от внедрения углекислотной технологии,

P_i : коэффициент роста углекислотной технологии,

u_i : максимальная доля запаса,

l_i : минимальная доля запаса,

n : общее количество углекислотной технологии в каждом кластере,

a : количество углекислотных технологий в выбранном портфеле.

Рассмотрим параметры, используемые в модели.

1. Возврат инвестиций от вложений в углекислотную технологию. Доходность портфеля записывается как:

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n r_i x_i,$$

где:

$$r_i = \left(\frac{1}{12}\right) \sum_{t=1}^{12} r_{it}$$

2. Риск. Отклонение доходности портфеля ниже ожидаемой доходности за прошедший период t , $t=1,2,\dots,T$, можно записать как:

$$k_i(x) = \left| \min \left\{ 0, \sum_{i=1}^n (r_{it} - r_i) x_i \right\} \right| = \frac{|\sum_{i=1}^n (r_{it} - r_i) x_i| + \sum_{i=1}^n (r_{it} - r_i) x_i}{2}$$

Ожидаемое отклонение доходности портфеля ниже ожидаемой доходности становится:

$$f_2(x) = k(x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T k_t(x) = \sum_{t=1}^T \frac{|\sum_{i=1}^n (r_{it} - r_i) x_i| + \sum_{i=1}^n (r_{it} - r_i) x_i}{2T}$$

где $k(x)$ представляет риск портфеля.

3. Индекс относительной силы портфеля (RSI) записывается как:

$$f_3(x) = \sum_{i=1}^n R_i x_i,$$

$$R_i = \frac{100-100}{1+avg_i} u avg_i = \frac{avggain}{avgloss}.$$

4. Коэффициент вариации (CV). Резюме портфолио записывается как:

$$f_4(x) = \sum_{i=1}^n C_i x_i,$$

где $c_i = SDi/return_i$ -й углекислотной технологии.

5. Доходность EY портфеля записывается как:

$$f_5(x) = \sum_{i=1}^n E_i x_i,$$

где $E_i = \frac{1}{e} ratio$ i -й углекислотной технологии.

6. Коэффициент роста цены к прибыли (коэффициент PEG) записывается как:

$$f_6(x) = \sum_{i=1}^n P_i x_i,$$

где $P_i = \frac{(P/e)ratio}{growthratio}$ -й углекислотной технологии.

7. Вес портфеля записывается как:

$$f_7(x) = \sum_{i=1}^n w_{AHPi} x_i,$$

где w_{AHPi} – масса запаса.

Введем ряд ограничений, оказывающих влияние на процесс внедрения углекислотной технологии в производственный процесс.

Инвестиционное ограничение на внедрение углекислотной технологии:

1. Сумма долей запасов должна быть равна:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$

2. Количество технологий в портфеле:

$$\sum_{i=1}^n b_i = a$$

3. Максимальный процент инвестиций, который может быть вложен в инновационную технологию:

$$x_i \leq l_i b_i, i = 1, 2, \dots, n.$$

Верхняя и нижняя границы были введены для того, чтобы избежать слишком большого количества крупных и малых инвестиций.

Принятие решения в ходе инвестирования в модернизацию производства может быть реализовано с учетом решения задачи:

$$\begin{aligned} \max f_1(x) &= \sum_{i=1}^n r_i x_i \\ \max f_2(x) &= \sum_{i=1}^n k_i x_i \\ \max f_3(x) &= \sum_{i=1}^n R_i x_i \\ \max f_4(x) &= \sum_{i=1}^n C_i x_i \\ \max f_5(x) &= \sum_{i=1}^n E_i x_i \\ \max f_6(x) &= \sum_{i=1}^n P_i x_i \\ \max f_7(x) &= \sum_{i=1}^n w_{АНРi} x_i \end{aligned}$$

при условии:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i &= 1 \\ \sum_{i=1}^n b_i &= a \\ x_i &\leq u_i b_i, i = 1, 2, \dots, n, \\ x_i &\geq l_i b_i, i = 1, 2, \dots, n, \\ x_i &\geq 0, i = 1, 2, \dots, n, \\ b_i &\in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

После определения решения по первой функции с ограничениями оно равно X_1 . Аналогично вычисляются другие целевые функции.

Получим семь решений по каждой задаче.

Затем определим лучшую верхнюю границу (u_b) и худшую нижнюю границу (l_b) для каждой из целей.

Функция принадлежности для $f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x), f_6(x), f_7(x)$ определяется формулой:

$$= \begin{cases} f_k(x), m_{f_k(x)} & 1, \text{ если } f_k(x) \geq u_b \\ \frac{f_k(x) - l_b}{u_b - l_b}, l_b \leq f_k(x) \leq u_b, k = 1, 3, 5, 7 \dots & \\ 0, \text{ если } f_k(x) \leq l_b. & \end{cases}$$

И как $m_{f_h(x)}$

$$= \begin{cases} 0, \text{ если } f_h(x) \geq u_b \\ \frac{u_b - f_h(x)}{u_b - l_b}, l_b \leq f_h(x) \leq u_b, h = 2, 4, 6 \dots & \\ 1, \text{ если } f_h(x) \leq l_b, & \end{cases}$$

где $m_{f(x)}$ – степень удовлетворения целевой функции для заданного решения X .

Полученный результат является первой итерацией.

Нижняя граница будет заменена первой итерацией только тогда, когда потребуется улучшение.

Этот процесс необходимо повторять до тех пор, пока инвесторы не будут удовлетворены решением.

Оценка показателя «соотношение риск / доходность» приемлемо при выборе технологии. Инвесторы не склонны к риску, поскольку они хотят рассматривать акции с низким риском и высокой степенью доходности.

Использование математической модели позволяет определить результаты с учетом коэффициента вариации, указывающего на компромисс между риском и доходностью.

Основываясь на приведенных выше результатах, инвестор хотел бы инвестировать в технологию с более низким CV, поскольку более «низкое значение отношения риска к доходности» указывает на лучший компромисс между этими показателями.

Преимуществом модели становится возможность предварительного определения предпочтений лица, принимающего решение. Если инвестор не устраивает портфель, он может изменить веса целевых функций или пересчитать модель и тем самым добиться улучшенных результатов. Появляется возможность влиять на их улучшение.

Такой подход дает лучшие результаты, так как можно получить соотношение «риск/доходность» относительно низким. Преимуществом модели становится возможность предварительного определения предпочтений лица, принимающего решение.

Литература

1. Абдель-Бассет М., Гунасекаран М., Мохамед М., Смарандаке Ф. Новый метод решения полностью нейтрософических задач линейного программирования // Нейронные вычисления и приложения. 2019. Т. 31. № 5. С. 1595-1605.
2. Ван Ю., Чен Ю., Лю Ю. Построение эффективных портфелей: проверка моделей риска для инвестирования // Математические проблемы в инженерии. 2016. № 6. С. 456-460.
3. Маркус Д. Оптимизация портфеля и линейное программирование // Деньги, инвестиции и банковское дело. 2011. № 20. С. 271-277.
4. Бхарати С.К., Сингх С.Р. Решение многоцелевых задач линейного программирования с использованием интуиционистского метода нечеткой оптимизации: сравнительное исследование // Междунар. журнал моделирования и оптимизации. 2014. № 4. С. 10-16.
5. Конак Ф., Багк Б. Нечеткое линейное программирование по оптимизации портфеля // Глобальный журнал менеджмента и бизнес-исследований. 2016. № 2. С. 57-61.
6. Папахристулу С., Доцауэр Э. Оптимальные портфели с использованием моделей линейного программирования // Общества операционных исследований. 2017. Т. 55. № 11. С. 1169-1177.
7. Джагонго А., Мутсвенье В.С. Инструментарий оценки инвестиционных рисков для компаний реального сектора экономики // Междунар. журнал гуманитарных и социальных наук. 2014. № 4. С. 92-102.
8. Марковиц Х. Выбор портфеля // The Journal of Finance. 1952. V. 7. № 1. С. 77-91.
9. Гупта П., Мехлават М.К., Саксена А. Гибридный подход к распределению активов с одновременным рассмотрением пригодности и оптимальности // Информационные науки. 2010. № 11. С. 2264-2285.
10. Перес-Каньедо Б., Консепсьон-Моралес Э.Р. Метод поиска уникального оптимального нечеткого значения полностью нечетких задач линейного программирования с ограничениями неравенства, имеющими неограниченные нечеткие параметры LR и переменные решения // Экспертные системы с приложениями. 2019. № 123. С. 256-269.
11. Пеллег Д., Мур А.В. X-средние: расширение K-средних с эффективной оценкой количества кластеров // Машинное обучение. 2000. № 1 (53). С. 727-734.
12. Дас С.К., Чакраборти А. Новый подход к оценке задачи линейного программирования в пентагональной нейтрософической среде // Сложные и интеллектуальные системы. 2020. Т. 7. № 1. С. 101-110.
13. Саати Т.Л. Рейтинг на основе сравнений и рейтингов в аналитической иерархии сетевых процессах // Европейский журнал операционных исследований. 2006. Т. 168. № 2. С. 557-570.
14. Сароколаи М.А., Салтех Х.М., Эдалат А. Представление нечеткой модели для нечеткой оптимизации портфеля с помощью функции риска среднего абсолютного отклонения // Европейский журнал естественных и социальных наук. 2013. № 3. С. 1793-1799.
15. Сингх С.К., Ядав С.П. Анализ и сравнение методов оценки рисков инвестиционных проектов // Исследования операций. 2018. Т. 269. № 1. С. 693-707.