

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

Нечволода Л. В., Крикуненко Е. Н., Сагайда П. И.

При проведении функционально-стоимостного анализа для оценки технического состояния производственного оборудования зачастую используется метод экспертных оценок, в ходе которого от экспертов часто пытаются получить непосредственные численные оценки параметров, что влечет за собой получение модельной ошибки при интерпретации результатов такого анализа. В рассматриваемой методике предлагается получать от экспертов качественные оценки результатов парных сравнений характеристик и альтернатив. Более детально рассматривается методика усовершенствования проведения функционально-стоимостного анализа на основе введения в его состав нечетких когнитивных карт. Предлагается использовать семантические модели процессов реализации в конкретном оборудовании функций теми узлами, которые были получены в ходе структурной декомпозиции.

При проведенні функціонально-вартісного аналізу для оцінки технічного стану виробничого устаткування найчастіше використовується метод експертних оцінок, у ході якого від експертів часто намагаються одержати безпосередньо чисельні оцінки параметрів, що спричиняє одержання модельної помилки при інтерпретації результатів такого аналізу. У розглянутій методиці пропонується одержувати від експертів якісні оцінки результатів парних порівнянь характеристик і альтернатив. Більш детально розглядається методика вдосконалення проведення функціонально-вартісного аналізу на основі введення до його складу нечітких когнітивних карт. Пропонується використовувати семантичні моделі процесів реалізації в конкретному устаткуванні функцій тими вузлами, які були отримані в ході структурної декомпозиції.

In conducting value analysis to evaluate the technical condition of the production equipment is often used methods of peer review, in which experts often try to get a direct numerical estimates of parameters, which entails getting an errors of model in interpreting the results of such analysis. In our method is suggested to obtain from experts qualitative evaluation of paired comparisons of characteristics and alternatives. More detail is considered the technique of improving the functional cost analysis based on the introduction of its composition of fuzzy cognitive maps. Proposed to use semantic models of processes for a specific hardware functions for those units that have been received in the course of the structural decomposition.

Нечволода Л. В.

канд. техн. наук, ст. преп. каф. ИСПР ДГМА
kiber@dgma.donetsk.ua

Крикуненко Е. Н.

аспирант ДГМА

Сагайда П. И.

канд. техн. наук, доц. каф. КИТ ДГМА

УДК 004.942

Нечволода Л. В., Крикуненко Е. Н., Сагайда П. И.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

Техническое переоснащение проводится в рамках стратегического развития предприятия, для достижения устанавливаемых собственниками завода целей, для выхода на новые рынки сбыта или поддержки конкурентоспособности [1]. Внеплановые и заранее запланированные капитальные ремонты и замены оборудования и узлов имеют различные альтернативы реализации. Принятие решений по техническому переоснащению с экономической точки зрения имеет своей целью повышение производительности оборудования с сохранением (или увеличением) качества производимой продукции, и при этом необходимо минимизировать затраты на переоснащение. С другой стороны, техническое переоснащение в реальных экономических и производственных условиях может рассматриваться как процесс адаптации технологического оборудования к требованиям заказчиков, к необходимым конкурентным преимуществам, к изменению конфигурации основных фондов, к внутрифирменным требованиям в связи с износом и моральным устареванием станков [2].

Возможны два случая технического переоснащения:

– переоснащение путем модернизации эксплуатируемого оборудования; при этом на предприятии принято проводить технические совещания, в рамках которых специалисты проводят упрощенный функционально-стоимостной анализ (ФСА) имеющихся узлов, их функций и стоимости реализации этих функций [3]. Выявляется слабое звено, подлежащее переоборудованию или замене. Однако применяемая технология ФСА не позволяет формализовать процесс обсуждения и представить результаты в виде модели, пригодной для дальнейших расчетов и повторного использования;

– переоснащение путем выбора альтернатив, когда оборудование меняется на аналогичное или более совершенное, когда выбирается поставщик или конкретная технология проведения капремонта или переоснащения. В этом случае выполняется экспертная оценка путем анкетирования специалистов и менеджеров. Критерии для проведения оценки достаточно многочисленны и разнообразны, и не исчерпываются одной лишь стоимостью станка (узла).

В обоих случаях в настоящее время отсутствуют математические модели и информационные технологии, позволяющие обеспечить качественную поддержку принятия решений, автоматизировать обработку получаемых экспертных данных таким образом, чтобы была достигнута требуемая достоверность результатов оценивания. Несмотря на то, что экспертное оценивание – субъективный процесс, оценки, которые дают эксперты, отражают нечеткие, недоопределенные, но формализованные модели идеального решения, которые в теории принятия решений называются функциями цели экспертов.

Целью данной статьи является рассмотрение методики усовершенствования функционально-стоимостного анализа для оценки работоспособности технологического (машиностроительного) оборудования, позволяющей реализовать системный подход к анализу узлов оборудования и рассчитать оптимальное соотношение ресурсов для его технического переоснащения на основе нечеткой когнитивной карты взаимовлияний узлов, функций и технических характеристик оборудования.

Недостатками существующих методик реализации ФСА является произвольный подход к выделению функций изделия (оборудования) и соотношению степени их реализации к узлам изделия. Также крайне субъективным является решение вопроса о полноте реализации таких функций в анализируемом оборудовании (например, в металлообрабатывающем

станке). При проведении анализа используется метод экспертных оценок, в ходе которого от экспертов часто пытаются получить непосредственные численные оценки параметров, что еще больше увеличивает модельную ошибку. В рассматриваемой методике предлагается получать у экспертов качественные оценки результатов парных сравнений характеристик и альтернатив.

Кроме того, на основании результатов системного анализа, с помощью диаграммной методики IDEF предлагается строить набор активностей, реализуемых оборудованием, определять входные и выходные потоки материалов и данных, потоки управления и исполнителей, что позволяет более обоснованно соотносить реализуемые оборудованием функции к его узлам.

В качестве методологической основы для разработки такой модели целесообразно использовать подходы, базирующиеся на применении когнитивных карт [4, 5]. В общем случае когнитивная карта (КК) представляет собой причинно-следственную сеть, отражающую какую-либо область знаний и допускающую следующее формальное представление:

$$G = \langle E, A \rangle, \quad (1)$$

где $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ – множество концептов,

A – бинарное отношение на множестве E , задающее связи между ними.

Концепты e_i и e_j считаются связанными отношением A , если изменение значения концепта e_i (причины) приводит к изменению значения концепта e_j (следствия). В соответствии с терминологией когнитивного моделирования, в этом случае говорят, что концепт e_i оказывает влияние на e_j . При этом, если увеличение значения концепта-причины приводит к увеличению значения концепта-следствия, то влияние считается положительным («усиление»), если же значение уменьшается – отрицательным («торможение»). Тем самым, отношение A можно представить в виде объединения двух непересекающихся подмножеств: A^+ – подмножества положительных и A^- – подмножества отрицательных связей. Сами концепты при этом могут задавать как относительные (качественные) показатели, такие как популярность, социальная напряженность, так и абсолютные, измеримые величины – численность населения, стоимость и т. п.

Когнитивная карта строится на основании субъективных представлений экспертов о ситуации. Для практического использования в качестве дополнительного этапа ФСА были приняты нечеткие когнитивные карты В.Б. Силова [6].

Понятие нечеткой когнитивной карты (НКК) представляет собой расширение классического понятия когнитивной карты, основанное на естественном предположении о том, что взаимовлияния между концептами могут различаться по интенсивности, и кроме того, интенсивность любого влияния может изменяться с течением времени. Для учета данного обстоятельства вводится показатель интенсивности влияния, и от классического отношения мы переходим к нечеткому отношению A , элементы a_{ij} которого характеризуют направление и степень интенсивности (вес) влияния между концептами e_i и e_j :

$$a_{ij} = a(e_i, e_j), \quad (2)$$

где a – нормированный показатель интенсивности влияния (характеристическая функция отношения A).

НКК допускает наглядное представление в виде взвешенного ориентированного графа, вершины которого соответствуют элементам множества E (концептам), а дуги – ненулевым элементам отношения A (причинно-следственным связям). Каждая дуга имеет вес,

задаваемый соответствующим значением a_{ij} . Само отношение A представимо в виде матрицы размерности $n \times n$ (где n – число концептов в системе), которая может рассматриваться как матрица смежности данного графа и называется когнитивной матрицей.

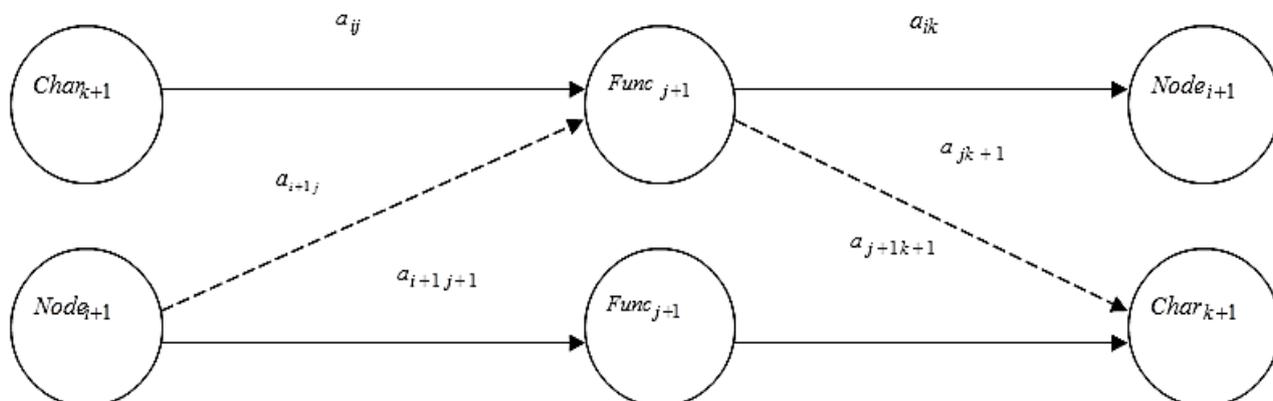


Рис. 1. Общая схема НКК для усовершенствованного метода ФСА при проведении технического переоснащения (сплошная линия – положительное влияние, штриховая – отрицательное)

В рассматриваемой предметной области НКК строится как результат формализации представлений специалистов о технологических процессах в анализируемом в ходе ФСА оборудовании, не требующий построения точной физической модели. При этом в НКК определяется направленность и степень влияния функций на интересующие лицо, принимающее решение (ЛПР), технические характеристики. Оценки направленности и степени реализации функций в узлах, как и обеспечение технических характеристик реализуемыми функциями, определяются экспертным путем. Результат моделирования представляется в виде нечеткой когнитивной карты так, как это показано на рис. 1.

Весовые коэффициенты a_{mn} связей (влияний) между элементами (концептами) обычно нормируются в диапазоне $[0, 1]$ (при положительном влиянии) или $[-1, 0]$ (при отрицательном). Традиционным применением НКК в практике анализа и моделирования сложных слабоформализуемых предметных областей является прогнозирование саморазвития системы с учетом начальных тенденций, а также определение возможной эффективности управления. В этом случае численно определяется уровень ресурсов (степень реализации) в каждом концепте на каждом шаге моделирования.

Моделирование саморазвития системы (превращение технических ресурсов, которыми располагают входные факторы модели – узлы оборудования, в его технические характеристики производительности и качества обработки) на основе полученной модели в ходе системного анализа и экспертного оценивания взаимовлияния факторов, выполняется на основе теории импульсных систем по следующему уравнению в матричном виде [6]:

$$x(t) = \left(I_N + A + A^2 + \dots + A^k + \dots + A^t \right) x(0)^T, \quad (3)$$

где $x(t)$ – вектор-столбец значений факторов модели на k -м шаге моделирования;
 A – матрица взаимовлияния факторов (матрица смежности для НКК) размера $n \times n$;
 I_N – единичная матрица размера $n \times n$;
 n – количество факторов (концептов) в модели, построенной в виде НКК;
 $x(0)$ – вектор значений начальных тенденций факторов.

Моделирование управляемого развития технической системы (оборудования), для которой разрабатывается НКК, производится с использованием теории импульсных систем [3] на основе следующих уравнений в матричном виде:

$$x(t) = (I_N + A + A^2 + \dots + A^t)x(0)^T + (I_N + A + A^2 + \dots + A^{t-1})B(u(0))^T, \quad (4)$$

где B – матрица размером $n \times m$, определяющая управляющие факторы в НКК;

$u(0)$ – вектор первоначальных управляющих воздействий (денежных или технических ресурсов, имеющих в концепте НКК (в данном случае – в узле оборудования)).

Решение обратной задачи – нахождение требуемого управления для достижения необходимых технических характеристик, выполняется, соответственно, на основании уравнения:

$$u^*(0) = (CQB)^+ \left((y^*)^T - CQx(0)^T \right), \quad (5)$$

где $u^*(0)$ – вектор управляющих воздействий (ресурсов, добавляемых в концепт НКК (в данном случае – вкладываемых в модернизацию или закупку узла денежных или технических ресурсов));

y^* – вектор значений целевых факторов НКК (в данном случае, условных значений технических характеристик оборудования);

Q – транзитивное замыкание матрицы A , которое может быть аппроксимировано следующей формулой:

$$Q = \sum_{k=0}^N A^k \cong (I_N - A)^{-1}, \quad (6)$$

где C – матрицы размера $k \times n$, которая определяет единицами в ответствующих ячейках, какие факторы модели (НКК) являются целевыми, т. е. в данном случае, для каких технических характеристик оборудования аналитик стремится достичь соответствующих значений.

Для усовершенствованного метода ФСА с использованием НКК предлагается решать обратную задачу: на основе построенной карты, задавая техническим характеристикам $Char_k$ (в диапазоне значений $[0, 1]$) требуемые после выполнения всех взаимовлияний уровни их реализации. При этом необходимо получить уровни вложения ресурсов в узлы $Char_{k+1}$ (вектор-столбец $u^*(0)$). Полученные оценки дают возможность более корректно оценить обоснованность затрат на реализацию функций в привязке к стоимости узлов оборудования. Соответственно, имея оценки ожидаемого уровня вложения ресурсов в узлы для реализации требуемых характеристик, ЛПР получает возможность определить направление процесса модернизации и сгенерировать набор альтернатив, либо уже на данном этапе осуществить выбор наиболее эффективного мероприятия технического переоснащения.

Рассмотрим реализацию предложенной методики на примере анализа модели взаимовлияния концептов (факторов) на реализацию функциональных возможностей станка, реально эксплуатируемого на машиностроительном предприятии. При этом использовалась диаграмма активностей (IDEF), реализуемых узлами станка. Узлы станка, функции, выполнение которых эти узлы обеспечивают, и достигаемые технические характеристики, важные с точки зрения ФСА, приведены в табл. 1. Там же приведены качественные оценки текущего состояния (ресурса) каждого концепта модели, полученные экспертным путем, а также требуемый целевой уровень этого ресурса, обусловленный задачами технического переоснащения.

Таблица 1

Концепты (факторы) модели функционирования расточного станка

№ п. п.	Фактор модели	Начальный уровень ресурса	Целевой уровень ресурса
1	Станина	Средний	
2	Поворотный стол	Ниже среднего	
3	Планшет (планшайба)	Средний	
4	Шпиндельная бабка	Средний	
5	Силовая головка (шпиндельное устройство)	Высокий	
6	Датчики контроля перемещений	Средний	
7	Приводы главного движения и подач	Средний	
8	Система подачи СОЖ	Высокий	
9	Устройство ЧПУ	Средний	
10	Информационная поддержка функционирования (автоматическая диагностика, связь с информационной сетью и т. п.)	Ниже среднего	
11	Жесткость основных узлов	Средний	
12	Скорость перемещений	Средний	
13	Контроль перемещений	Средний	
14	Назначение оптимальных режимов резания	Средний	
15	Стабильность точностных параметров	Средний	
16	Точностные параметры и параметры качества обрабатываемых поверхностей	Средний	Выше среднего
17	Технологические возможности расточки	Средний	Средний
18	Долговечность инструмента	Средний	Средний
19	Использование возможностей режущего инструмента	Средний	Выше среднего
20	Нагрузочная способность станка	Средний	Высокий

Для перевода лингвистических переменных (оценок экспертов) в числовые веса взаимовлияний факторов на знаковом взвешенном графе в виде нечеткой когнитивной карты и в ходе динамического моделирования используются следующие соответствия: «низкий» – 0.1; «ниже среднего» – 0.3; «средний» – 0.5; «выше среднего» – 0.7; «высокий» – 0.9.

Управляющими факторами в данной модели являются факторы 1-10, управляемыми факторами являются факторы 16–20. Таким образом, были получены следующие вектора и матрицы.

Вектор начальных тенденций (ресурсов) факторов модели:

$$x(0) = [0.5 \ 0.3 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.9 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.9 \ 0.5 \ 0.3 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5].$$

Вектор требуемых значений целевых факторов, т. е. факторов, для которых при техническом переоснащении необходимо достичь указанных уровней:

$$y^* = [0.7 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.7 \ 0.9].$$

Матрица, определяющая целевые факторы модели:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

На следующем этапе эксперты устанавливали причинно-следственные связи между концептами, с указанием для каждой связи ее характера (положительная или отрицательная) и силы. После согласования используемых экспертами шкал для оценок текущего состояния факторов и весов их взаимовлияния, на основе полученных результатов была сформирована

когнитивная матрица, содержащая усредненные (с учетом мнений всех экспертов) оценки интенсивности влияний (матрица смежности или, иначе, взаимовлияний A), на основе которой и была построена НКК факторов модели расточного станка.

Затем, в соответствии с уравнениями (4–6), было выполнено решение обратной задачи и получены следующие значения $u^*(0)$ ресурсов для управляющих факторов (узлов оборудования), которые необходимо обеспечить (добавить, инвестировать), чтобы получить требуемые значения целевых факторов (полученные значения нормированы по знаку и диапазону изменения):

$$u^*(0) = [0.18 \ 1 \ 0.3 \ 0.5 \ 0 \ 0.39 \ 0.61 \ 0.68 \ 0.17 \ 0.43].$$

Полученный вектор интерпретируется ЛПР следующим образом. Для достижения требуемых технических характеристик необходима глубокая модернизация следующих узлов: шпиндельная бабка, поворотный стол, приводы главного движения и подачи, система подачи СОЖ. Кроме того, желательна средняя модернизация узлов: планшет (планшайба), датчики контроля перемещений, информационная поддержка функционирования. Техническое состояние остальных узлов можно оставить на прежнем уровне. Денежные и трудовые ресурсы при техническом переоснащении необходимо распределить в пропорции, определяемом коэффициентами вектора $u^*(0)$.

Общее состояние факторов модели при реализации стратегии технического переоснащения показывают, что фактор «Жесткость основных узлов» подвергнется снижению ресурса в ходе выполнения предлагаемых мероприятий, что требует дополнительных решений при модернизации станка.

ВЫВОДЫ

Недостатками существующих методик реализации ФСА является произвольный подход к выделению функций изделия (оборудования) и соотношению степени их реализации к узлам изделия. Для решения данной проблемы предложено усовершенствование метода функционально-стоимостного анализа для оценки трудоспособности машиностроительного оборудования, которое позволяет реализовать системный подход к анализу узлов оборудования и рассчитать оптимальное соотношение ресурсов для его технического переоснащения на основе нечеткой когнитивной карты взаимовлияний узлов, функций и технических характеристик оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зелинский С. Э. Автоматизация управления предприятием / С. Э. Зелинский. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 518 с.
2. Кибанов А. Я. Управление машиностроительным предприятием на основе функционально-стоимостного анализа / А. Я. Кибанов. – М., 1991. – 256 с.
3. Чумаченко Н. Г. Техническое перевооружение и реконструкция производства / Н. Г. Чумаченко. – К. : Наукова думка, 1991. – 249 с.
4. Борисов С. Б. Система управления основными фондами машиностроительного предприятия : дис. канд. экон. наук / С. Б. Борисов. – Воронеж, 2001. – 179 с.
5. Катренко А. В. Теорія прийняття рішень / А. В. Катренко, В. В. Пасічник, В. П. Пасько. – К. : ВНУ, 2009. – 447 с.
6. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В. Б. Силов. – М. : ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
7. Робертс Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф. С. Робертс. – М. : Наука, 1986. – 496 с.

Статья поступила в редакцию 12.12.2012 г.