

М. Ю. АЛЕХИН
Доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой управления судостроительным производством Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. Область научных интересов: управление проектами в судостроении, инновационный менеджмент в сфере высоких технологий.

E-mail:
alekhin@smtu.ru

Для принятия рационального решения о постройке судна необходимо иметь адекватную прогнозную оценку себестоимости. Традиционные методы прогнозирования не позволяют получить оценку затрат верфи с требуемой степенью достоверности.

Предложен подход к прогнозированию затрат, основанный на системе нечеткого логического вывода. Данный подход обладает рядом преимуществ, среди которых: использование для целей прогнозирования нечеткой исходной информации; повышение обоснованности результата за счет возможности использования в процессе прогнозирования всей релевантной информации. Это позволит повысить обоснованность принимаемых управленческих решений, положительно отразится на общей экономической устойчивости предприятия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

нечеткая логика, прогнозирование себестоимости, себестоимость постройки судна, судостроение.



В. В. РАЕВ
Кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры управления судостроительным производством Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. Область научных интересов: приложения аппарата нечеткого логического вывода к управлению производственной деятельностью.

E-mail:
vladimir_raev@mail.ru

Прогнозирование себестоимости постройки судна с использованием аппарата теории нечетких множеств

Особенностями судостроения являются: большая продолжительность цикла, значительная доля незавершенного производства, а значит, связанных в производстве ресурсов, и высокая энтропия производственного процесса. Последнее обусловлено сложностью объекта постройки и числом кооперационных связей, объединяющих несколько сотен предприятий

хозяйственного комплекса. Результаты процесса управления материализуются в виде итоговых показателей деятельности производственно-хозяйственной системы. Любое управленческое решение, принимаемое в этих условиях, является рискованным как по уровню неопределенности, так и по величине экономических последствий.

При реализации функций управления одним из целевых показателей является величина затрат. Само решение о постройке судна на конкретном предприятии связано с риском возможно неточной оценки себестоимости постройки судна и вероятных неблагоприятных для судостроительного завода последствий. Эти риски существенно возросли из-за того, что устарела нормативная база, которая не обновлялась последние 20 лет. Традиционно затраты на постройку нового судна определяются с использованием аппроксимационных моделей, учитывающих количественные взаимосвязи между техническими параметрами судна, а также организационными и технологическими характеристиками производственного процесса и величиной затрат на его создание. Подобные модели основаны на анализе фактических данных о затратах на постройку судов в прошлом и экстраполяции полученных результатов на будущее.

В настоящее время на практике широко используются статистические методы прогнозирования, разработанные специалистами ЦНИИ морского флота и ЦНИИ технологии судостроения (ЦНИИТС) [2, 3, 5]. Однако проблема использования указанных методов связана с отсутствием актуальной информации о сложившихся зависимостях между экономическими показателями постройки, конструктивными характеристиками судна и организационно-техническим уровнем предприятия-строителя. Это делает затруднительным формирование достоверной оценки затрат предприятия статистическими методами на стадии заключения договора о постройке судна.

Одним из логичных направлений развития существующих методов прогнозирования себестоимости постройки судна [3–5] представляется создание метода, основой математической реализации которого является аппарат теории нечетких множеств. Существует несколько причин для обоснования данного выбора. Во-первых, в сложившихся условиях использование вероятностно-статистических методов невозможно в силу ничтожной точности результатов прогноза из-за недостатков информационного обеспечения этих методов. Во-вторых, имеется также ряд проблем теоретического характера, связанных с вопросом о применимости вероятностно-статистических методов в исследовании явлений, не являющихся массовыми и однородными. Несмотря на указанные недостатки вероятностно-статистических методов, за долгое время их применения при решении рассматриваемых задач были установлены зависи-

мости между определенными конструктивными элементами судна и трудоемкостью его постройки в конкретных институциональных условиях. Это дает возможность полностью использовать выявленные причинно-следственные связи в случае разрешения проблем с использованием вероятностно-статистических методов.

Определение затрат судостроительного завода традиционно основано на прогнозировании значения трудоемкости постройки судна. Реализация данного прогноза в рамках системы нечеткого логического вывода позволяет не только решить проблему с недостатком информации для построения аналитической зависимости, но и учитывать при прогнозировании качественные факторы, отражающие технико-экономические условия производства. Реализация предлагаемого в статье метода прогнозирования затрат на постройку судна состоит в реализации ряда этапов, первым и основным из которых является формирование базы правил нечетких продукций, отражающей эмпирические знания о зависимости удельной трудоемкости постройки судна заданного класса от входных переменных. Последние определяются на основе анализа факторов, влияющих на величину трудоемкости [6, 7]. Она обусловлена в основном техническими характеристиками судна, технико-экономическими условиями производства: специализацией верфи, технологией постройки, организацией производства, системой управления производством, профессиональным составом и квалификацией трудового персонала и др. Влияние данных характеристик по-разному отражено во всех существующих методах прогнозирования себестоимости постройки судна [1–3, 5]. При этом необходимо принять во внимание, что на начальном этапе определение затрат осуществляется на стадии проработки предложений заказчика, то есть прогнозирование основано

Рис. 1. Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «масса судна порожнем»

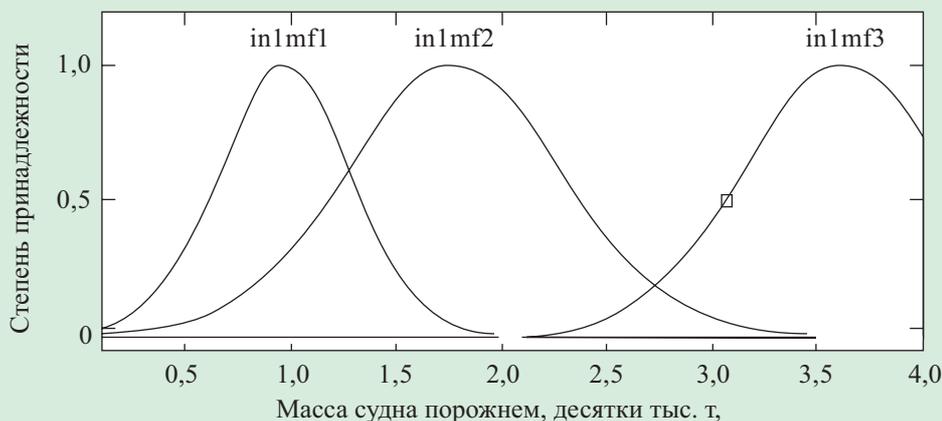


Рис. 2. Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «технический уровень производства»

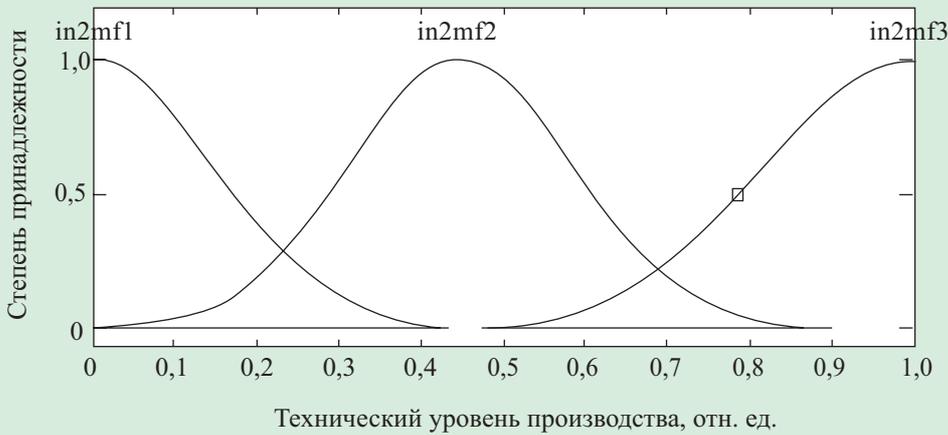


Рис. 3. Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «организационный уровень производства»

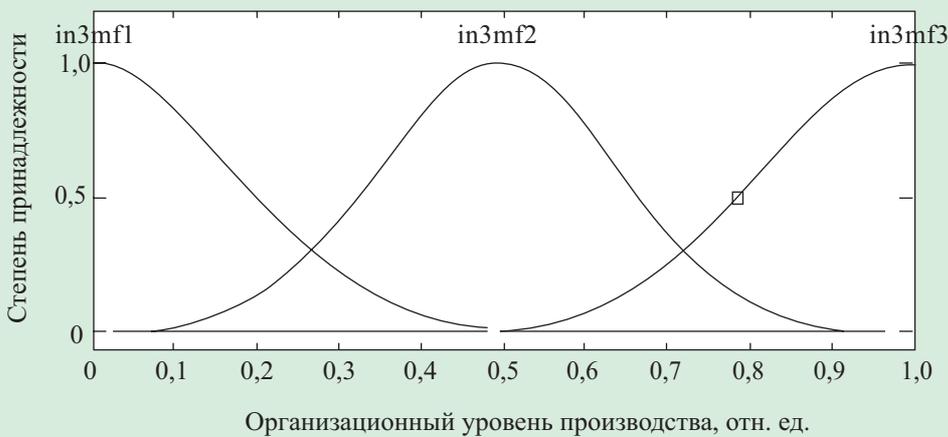
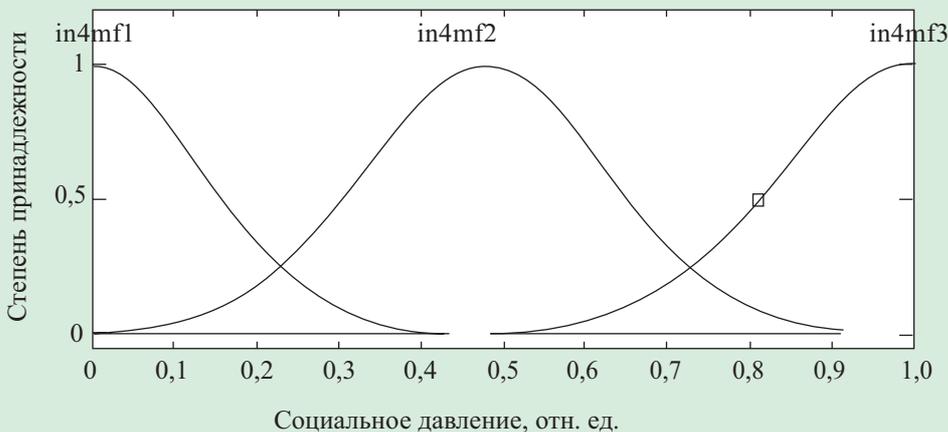


Рис. 4. Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «социальное давление», относительные единицы, диапазон от 0 до 1



на минимальной информации. В частности, информация о судне может быть ограничена одной или двумя технико-эксплуатационными характеристиками. Очевидно, что производственные условия также не удастся оценить достаточно точно, поэтому для отображения их влияния допустимо использование двух или трех наиболее значимых параметров, влияющих на трудоемкость, а следовательно, определяющих стоимость постройки, которая станет основным оценочным показателем при управлении постройкой судна.

В качестве входных переменных системы нечеткого вывода были выбраны характеристики судна (водоизмещение порожнем, конструктивная сложность) и производства (технический и организационный уровни производства, состав и квалификация трудовых ресурсов предприятия, определяемых конъюнктурой рынка труда). Это минимальный набор факторов, с помощью которого возможно адекватное отображение исследуемой зависимости; его можно расширить за счет дополнительных факторов при наличии релевантной информации.

Накопленные статистические данные позволяют сформулировать совокупность зависимостей возможных значений удельной трудоемкости от выходных переменных. Последние были использованы при построении базы правил системы нечеткого вывода. Обработка информационных массивов осуществлялась с использованием нечеткого кластерного анализа, задача которого – нахождение нечеткого разбиения множества элементов исследуемой совокупности, образующих структуру нечетких кластеров, присутствующих в рассматриваемых данных [6, 8].

База правил для рассмотренного набора входных переменных может быть представлена, например, следующей совокупностью правил.

Правило 1. Если масса порожнем небольшая и технический уровень высокий, и организационный уровень высокий, и конструктивная сложность низкая, и конъюнктура рынка труда благоприятная, то удельная трудоемкость низкая.

Правило N. Если масса порожнем небольшая и технический уровень низкий, и организационный уровень низкий, и конструктивная сложность высокая, и конъюнктура рынка труда неблагоприятная, то удельная трудоемкость высокая.

Особенностью систем нечеткого логического вывода является то, что адекватное моделирование реальности возможно при небольшом количестве правил в базе [10]. Необходимое количество правил существенно меньше их сочетаний. При проектировании базы правил рекомендуется придерживаться следующих принципов: должно существовать хотя бы одно правило для каждого термина (наименования) выходной переменной; для любого термина входной переменной должно существовать хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве посылки; для произвольного вектора входных переменных должно существовать хотя бы одно правило, степень выполнения которого больше нуля.

В общем случае количество термов, необходимых для лингвистической оценки, определяется содержательной интерпретацией переменной. Минимальное количество термов – 2 (случай бинарной оценки с нечеткими границами). Максимальное количество термов для лингвистической оценки одной переменной не должно превышать 7 ± 2 . Данное ограничение основано на опыте разработки систем нечеткого логического вывода, свидетельствующего о том, что в очень редких случаях мощность терм-множества превышала 7. Наиболее распространены трехэлементные ($\{\text{«низкий»}, \text{«средний»}, \text{«высокий»}\}$) и пятиэлементные ($\{\text{«низкий»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«средний»}, \text{«выше среднего»}, \text{«высокий»}\}$) терм-множества.

Следующим этапом является установление соответствия между численным значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей термина входной лингвистической переменной. В результате для всех входных переменных должны быть определены значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, используемых в подусловиях базы правил.

В качестве терм-множеств входных переменных будут использоваться следующие трехэлементные терм-множества:

- в качестве терм-множества лингвистической переменной «масса судна порожнем» будем использовать множество

{«небольшая», «средняя», «большая»} с функциями принадлежности, обозначенными $in1mf1$ (input 1 membership function 1), $in1mf^2$, $in1mf^3$ соответственно (рис. 1);

- в качестве терм-множества лингвистической переменной «технический уровень производства» будем использовать множество {«низкий», «средний», «высокий»} с функциями принадлежности, обозначенными in^2mf1 , in^2mf^2 , in^2mf^3 соответственно (рис. 2);

- в качестве терм-множества лингвистической переменной «организационный уровень производства» будем использовать множество {«низкий», «средний», «высокий»} с функциями принадлежности, обозначенными in^3mf1 , in^3mf^2 , in^3mf^3 соответственно (рис. 3);

в качестве терм-множества лингвистической переменной «конструктивная сложность судна» будем использовать множество {«низкая», «средняя», «высокая»} с функциями принадлежности,

Рис. 5. Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «конструктивная сложность судна»

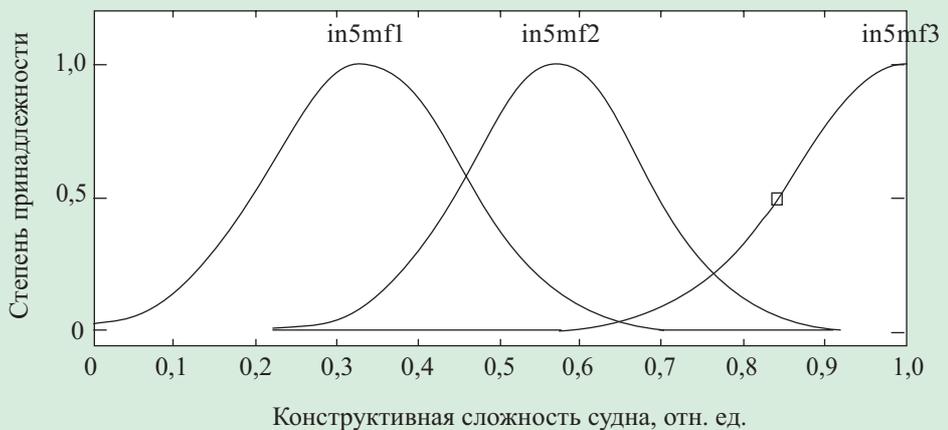


Рис. 6. Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «удельная трудоемкость постройки»

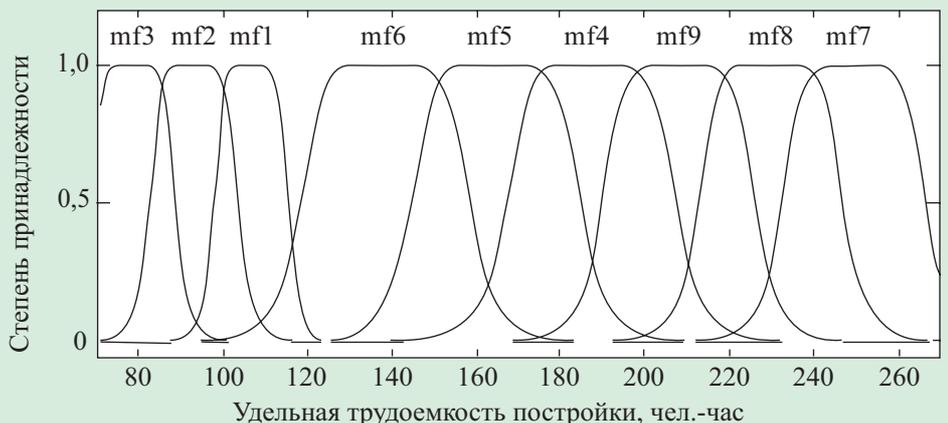
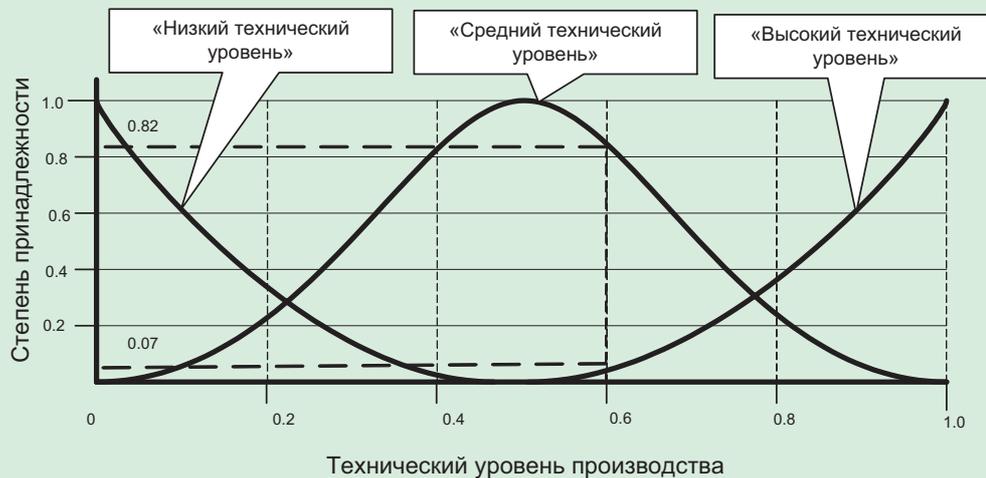


Рис. 7. Фаззификация лингвистической переменной «технический уровень» для трех нечетких высказываний



обозначенными $in4mf1$, $in4mf2$, $in4mf3$ соответственно (рис. 4);

- в качестве терм-множества лингвистической переменной «социальное давление» будем использовать множество {«низкое», «среднее», «высокое»} с функциями принадлежности, обозначенными $in5mf1$, $in5mf2$, $in5mf3$ соответственно (рис. 5);

- в качестве терм-множества выходной лингвистической переменной «удельная трудоемкость постройки» будем использовать множество {«самая низкая», «низкая», «ниже средней», «немного ниже средней», «средняя», «немного выше средней», «выше средней», «высокая», «самая высокая»} с функциями принадлежности, обозначенными $mf3$, $mf2$, $mf1$, $mf6$, $mf5$, $mf4$, $mf9$, $mf8$, $mf7$ (рис. 6).

По оси абсцисс на рис. 1–6 указаны численные значения отдельной входной переменной системы нечеткого вывода, а по оси ординат – функция принадлежности, ставящая в соответствие каждому из значений входной переменной некоторое действительное число из интервала $[0, 1]$ и, таким образом, определяющая их принадлежность нечеткому множеству.

В качестве алгоритма вывода в системе используется алгоритм Мамдани [6, 10, 11]. Проиллюстрируем отдельные элементы алгоритма нечеткого вывода – рисунки, объясняющие конкретные этапы нечеткого вывода, приведены в целях наглядного примера и являются схематичным отражением разработанного алгоритма.

Рассмотрим процесс фаззификации трех нечетких высказываний: «технический уровень низкий», «технический уровень средний» и «технический уровень высокий» для входной лингвистической переменной «технический уровень».

При условии, что технический уровень судостроительного завода оценивается экспертами значением 0,6 из общего интервала возможных значений $[0, 1]$, фаззификация первого нечеткого высказывания дает в результате число 0,82, которое означает его степень истинности и получается подстановкой значения технического уровня 0,6 в качестве аргумента функции принадлежности термина «низкий технический уровень». Фаззификация второго нечеткого высказывания дает в результате число 0,07, которое означает его степень истинности и получается подстановкой значения технического уровня 0,6 в качестве аргумента функции принадлежности термина «средний технический уровень».

Фаззификация третьего нечеткого высказывания дает в результате число 0,07, которое означает его степень истинности и получается подстановкой значения технического уровня 0,6 в качестве аргумента функции принадлежности термина «высокий технический уровень» (рис. 7).

Последующие этапы связаны непосредственно с реализацией расчетной части метода. Вначале определяется степень истинности нечетких высказываний (подусловий) для каждого из правил, входящих в базу, или агрегирование. Рассмотрим данный процесс на примере для нечетких высказываний «средняя масса судна порожнем» и «средний технический уровень производства» при известных значениях массы порожнем (16 тыс. т) и техническом уровне производства (0,8). Агрегирование данного нечеткого высказывания производится с использованием оператора нечеткой конъюнкции (рис. 8, правило 1):

$$T(A \wedge B) = \min \{T(A), T(B)\} \quad (1)$$

и составляет в результате число 0,3, которое означает его степень истинности и находится как минимальное из возможных значений.

Далее определяется степень истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций (активизация). Для рассматриваемого примера (рис. 8, правило 1, п. 1) результатом агрегирования является число 0,3, которое определяется как наименьшее из степеней истинности подусловий и функции принадлежности термина выходной переменной (рис. 8, правило 1, п. 2). Одной из основных процедур нечеткого вывода является объединение степеней истинности под-

заклучений, или аккумуляция подзаклучений, цель которой – получение функции принадлежности выходной переменной. Процесс объединения степеней истинности заклучений для двух нечетких множеств, полученных в результате процесса активизации для выходной лингвистической переменной «удельная трудоемкость постройки судна» в системе нечеткого вывода, состоящей из двух правил нечетких продукций, при известных значениях входных лингвистических переменных представлен на рис. 8 (п. 3). Как видно, его числовое значение находится в диапазоне [83,87] чел.-час/т.

Правило 1. Если масса порожнем средняя и технический уровень низкий, то удельная трудоемкость выше средней.

Правило 2. Если масса порожнем средняя и технический уровень высокий, то удельная трудоемкость ниже средней.

Заклучительная процедура нечеткого вывода – дефаззификация – обусловлена необходимостью представления результатов расчета в виде четких чисел и служит для получения обычного количественного значения выходной переменной на основании результатов аккумуляции всех выходных лингвистических переменных (рис. 8, п. 4). Для ее реализации обычно используются следующие методы [6, 10]: метод центра тяжести, метод центра площади, метод левого модального значения или метод правого модального значения. Так, использование метода центра тяжести дает результат 84,7 чел.-час/т. Следует учитывать, что различные методы дефаззификации могут приводить к результатам, существенно отличающимся друг от друга. Очевидно, что это требует дополнительных исследований по настройке используемых алгоритмов нечеткого вывода.

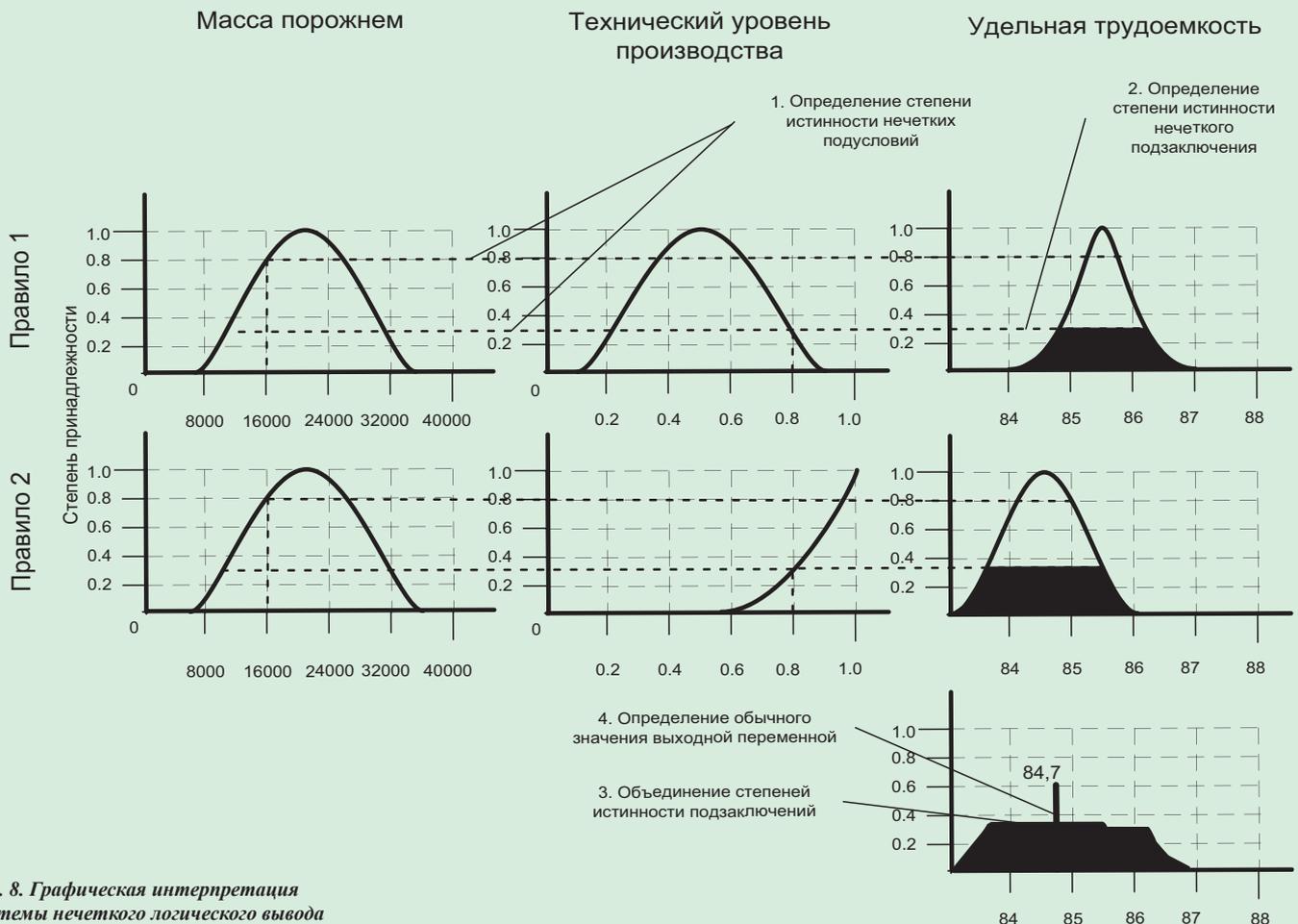


Рис. 8. Графическая интерпретация системы нечеткого логического вывода

Дальнейшие этапы рассматриваемого метода сводятся к расчету прогнозируемого значения полной себестоимости постройки судна на основании информации о прогнозируемом значении трудоемкости постройки и его технико-конструктивных характеристиках, и расчет осуществляется в соответствии с алгоритмом, разработанным группой специалистов ЦНИИТСа [3–5].

Применение предлагаемого в статье метода прогнозирования на практике показало, что величина отклонения совокупности прогнозных значений себестоимости от фактического значения затрат составляет 12–18%. Достоверность результатов прогнозирования обусловлена в первую очередь качеством и объемом исходной информации: чем меньше объем и ниже достоверность исходной информации, тем больше величина носителя нечеткого результата, то есть диапазон его возможных значений. Очевидно, что указанное

отклонение нельзя считать незначительной величиной, однако оно существенно ниже, чем у используемых на практике методов, где при использовании того же массива исходной информации величина отклонения достигает 30%.

Таким образом, предлагаемый подход к прогнозированию затрат, основанный на системе нечеткого логического вывода, обеспечивает ряд существенных преимуществ перед используемыми методами прогнозирования, а именно: использование для целей прогнозирования нечеткой исходной информации; повышение обоснованности прогнозируемого значения величины затрат за счет возможности использования в процессе прогнозирования всей релевантной информации; повышение обоснованности принимаемых управленческих решений, положительно отражающиеся на общей экономической устойчивости предприятия.

Список литературы:

1. Заварихин Н. М., Верланов Ю. Ю. Методы определения себестоимости постройки судов при их проектировании. Л.: Судостроение, 1979. 112 с.
2. Иконников А. Ф. Определение стоимости морских судов с учетом новых технических требований. // Судостроение. 2000. № 2. С. 47–50.
3. Исаев А. А., Поляков Ю. И., Руднев А. И. Обоснование стоимости постройки судов. // Судостроение. 2003. № 4. С. 36–39.
4. Клопов А. Е. Моделирование трудовых затрат в процессе согласования контрактных цен судов на мировом рынке: Дис. ... канд. экон. наук. СПб., 1998. 165 с.
5. Клопов А. Е. Прогнозирование затрат предприятия-строителя на основе предложений заказчика судна. // Судостроение. 2000. № 4. С. 51–53.
6. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
7. Маковский В. А., Похлебаев В. И. Базы знаний (экспертные системы). М.: Изд-во стандартов, 1993. – 37 с.
8. Мандель Н. Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
9. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику // MATLAB. Exponenta: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1_7.php.
10. Mamdani E. H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. // International Journal of Man-Machine Studies. 1976. Vol. 8. P. 669–678.
11. Mamdani E. H. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. // IEEE transactions on computers. 1977. Vol. 26, N 12. P. 1182–1191.