

## ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИОРИТЕТНОГО ЧИСЛА РИСКА В МЕТОДОЛОГИИ FMEA

Багимов И.А., Тараненко В.А. (ИСТИ, СевНТУ, ИТСИ, Политехника Любельска, г.Севастополь, г.Люблин, Украина, Польша)

*FMEA – method (Failure Mode Effect Analyses) is the most popular and effective one among great deal of methods of quality improvement of production. Authors offer to use fuzzy logic in modeling of score process in FMEA – method. Such offering provide to take into account nonlinear character of interaction between FMEA score scales: solemnity, oscillation and detection. Experimental mathematical model is created in MATLAB software.*

В настоящее время на промышленных предприятиях, в частности, автомобильной отрасли, широкое применение получил метод анализа видов и последствий потенциальных отказов, известный как – Failure Mode Effect Analyses. Согласно опросу предприятий, проведенному журналом «European Quality», метод FMEA [1] является наиболее популярным и эффективным среди многих приемов и методов улучшения качества продукции. При сертификации предприятий автомобильной отрасли по стандарту QS-9000 применение FMEA-методологии является обязательным [2]. Целью статьи является описание сути метода, выявление его преимуществ и недостатков, и предложение по усовершенствованию процесса оценки потенциальных отказов с применением аппарата нечеткой логики.

Суть метода заключается в следующем. Межфункциональная команда специалистов (конструкторов, технологов, мастеров, контролеров качества и пр.) рассматривают предложенную «эскизную» конструкцию или технологию с разных позиций и доводят ее до необходимого уровня совершенства [3]. Члены команды, основываясь на своих знаниях и опыте, предсказывают потенциально возможные «неприятности» (дефекты, отказы) в данной конструкции или технологии, их причины и последствия. Далее производится количественная оценка «неприятностей» по трем критериям: S – значимости по последствиям (Solemnity), O – частоте вероятного появления (Oscillation), и D – возможности обнаружения при изготовлении продукции (Detection). Если обобщенная оценка данного дефекта (отказа) в соответствии с этими критериями оказывается выше определенной границы, то рассматриваемую конструкцию (технологию) дорабатывают [4]. Обобщенную оценку принято называть «приоритетным числом риска (ПЧР) – Priority Risk Number (PRN)». ПЧР представляет собой произведение трех отдельных оценок по соответствующим критериям S, O и D.

Каждый критерий имеет свою шкалу оценок, как правило, имеющую ранг от 1 до 10, таким образом, максимальное значение ПЧР по рекомендациям стандарта может достигать 1000:

$$ПЧР = S \times O \times D = 10 \times 10 \times 10 = 1000. \quad (1)$$

Примеры рекомендуемых стандартом [1] шкал оценок представлены в таблицах 1–3.

Получаемое по каждому дефекту / причине ПЧР должно быть меньше некоего заранее установленного граничного ПЧР<sub>гр</sub>, в противном случае узел (деталь, конструкция) должны быть отправлены на доработку. В начале работы по FMEA – методологии рекомендуется устанавливать ПЧР<sub>гр</sub> = 100, а в дальнейшем это значение может быть уменьшено, что снизит общую критичность отказов. Предприятия, давно использующие эту методологию, работают с границей ПЧР = 30-50 [2].

Таблица 1. Шкала оценок значимости S для FMEA конструкции

Последствие	Критерий значимости последствия	Ранг
Опасное без предупреждения	Потенциальный отказ ухудшает безопасность работы или/и вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии	10
.....		
Очень важное	Узел неработоспособен с потерей основной функции	8
Важное	Узел работоспособен, но снижен уровень эффективности, потребитель неудовлетворен	7
.....		
Слабое	Узел работоспособен, но работает малоэффективно. Потребитель испытывает некоторое неудовлетворение.	5
.....		
Отсутствует	Нет последствия	1

Таблица 2. Шкала оценок возникновения O для FMEA конструкции

Вероятность отказа	Возможные частоты отказов	Ранг
Очень высокая, отказ почти неизбежен	более 1 из 2	10
.....		
Умеренная: случайные отказы	более 1 из 80	6
.....		
Малая: отказ маловероятен	менее 1 из 1 500 000	1

Таблица 3. Шкала оценок обнаружения D для FMEA конструкции

Обнаружение	Правдоподобность обнаружения при проектируемом контроле	Ранг
Абсолютная неопределенность	Проектируемый контроль не обнаружит и/или не может обнаружить потенциальную причину и последующий вид дефекта, или контроль не предусмотрен	10
.....		
Очень слабое	Очень ограниченные шансы обнаружения при предполагаемом контроле	7
.....		
Умеренное	Умеренные шансы обнаружения при предполагаемом контроле	5
.....		
Почти наверняка	Проектируемые действия (контроль) почти наверняка обнаруживают потенциальную причину и последующий вид дефекта	1

Методика FMEA достаточно просто усваивается специалистами и дает прекрасные результаты: конструкция и технология сразу получается «доведенными» зачастую еще до запуска в производство. Однако существуют и недостатки метода, в частности, в реальной практике шкалы оценок бывают резко нелинейны, причем сочетание факторов (совместное их взаимодействие) может быть также нелинейно. Например, в рекомендуемых стандартами шкалах (в частности, значимости S), катастрофические последствия, связанные с безопасностью или экологией, оцениваются максимально – в 10

баллов, а последствия, при которых «потребитель испытывает некоторое неудовлетворение» - 5 баллов, то есть всего в 2 раза ниже! [3]. Аналогично, в рекомендуемых стандартом шкалах не учитывается совместное действие факторов. Например:

$$ПЧР_1 = S \times O \times D = 7 \times 5 \times 5 = 175, \quad (2)$$

$$ПЧР_2 = S \times O \times D = 5 \times 5 \times 7 = 175. \quad (3)$$

Произведения оценок получаются одинаковые, но с коммерческой точки зрения в конкретном случае может быть более критично, если «потребитель неудовлетворен (S=7)», нежели «потребитель использует некоторое неудовлетворение (S=5)».

Авторы предлагают в методологии FMEA использовать элементы нечеткой логики (Fuzzy logic). В частности, в зависимости от отрасли производства или предприятия, моделировать вычисление ПЧР по заранее разработанным правилам, определяя степени нелинейности шкал и зависимость ПЧР от сочетания факторов. Для автоматизации расчетов предлагается использовать пакет Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB [5].

Работа начинается с создания модели (Рис.1) в редакторе нечеткой системы ввода Fuzzy Interface System Editor (FIS Editor):

Заранее определяются характеристики (функции принадлежности) шкал и присваиваются им соответствующие ранги (Рис. 2 – 4):

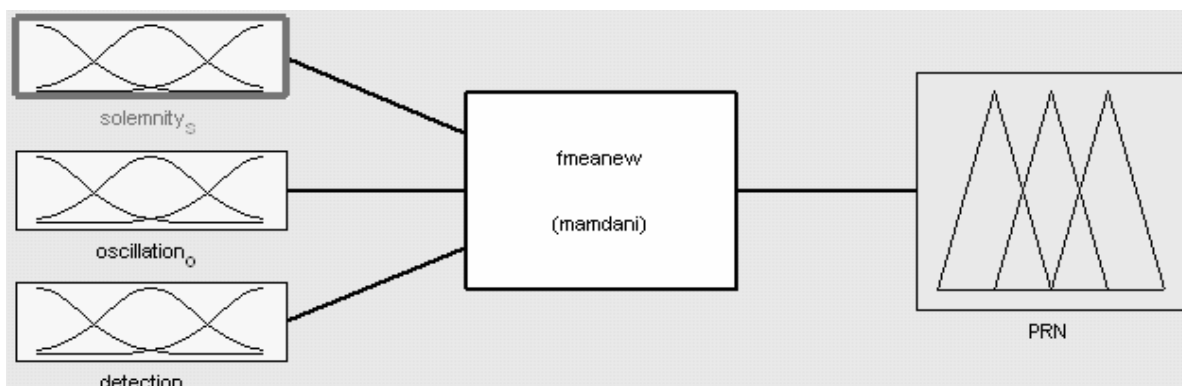


Рис.1. Модель в окне FIS Editor

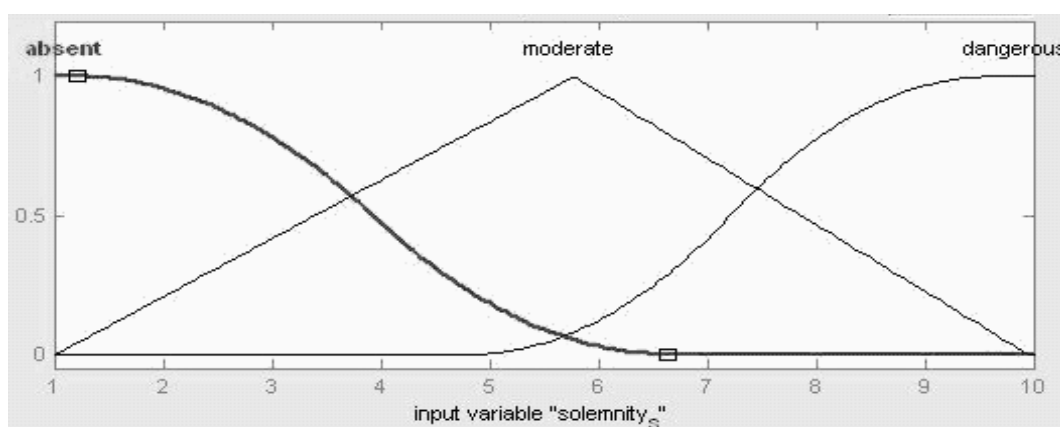


Рис.2. Функции принадлежности для шкалы значимости S

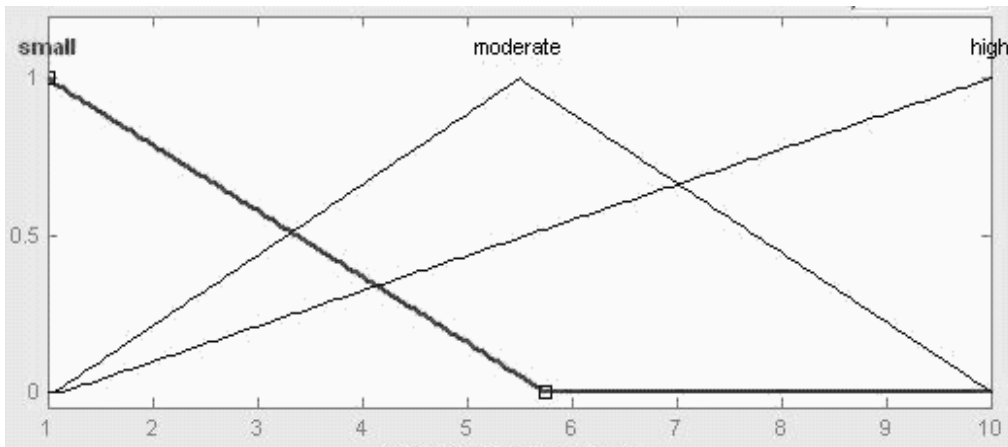


Рис.3. Функции принадлежности для шкалы возникновения O

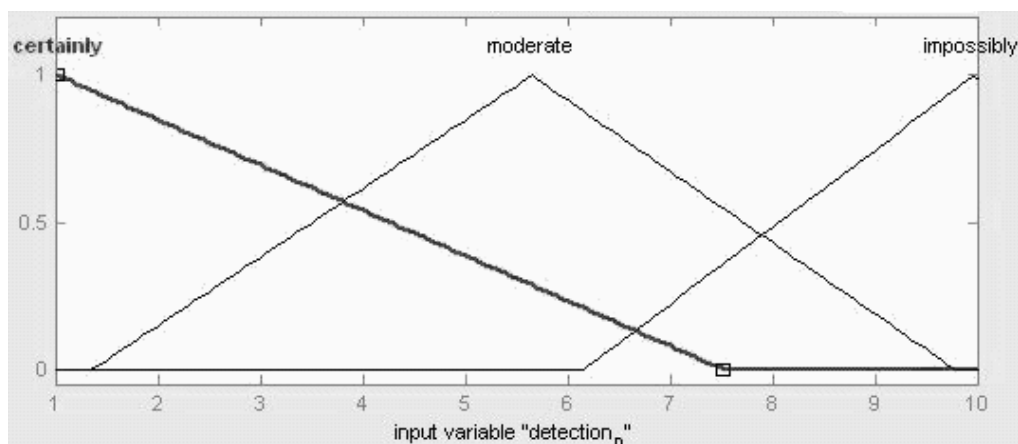


Рис.4. Функции принадлежности для шкалы обнаружения D

В данном случае виды функций принадлежности переменных взяты спонтанно только лишь для пояснения принципа работы модели. В каждом конкретном производственном случае в зависимости от целей количество и вид функций принадлежности могут быть разными. Диапазон изменения всех трех переменных назначаем от 1 до 10 как рекомендует стандарт. Работаем в редакторе функций принадлежности Membership Function Editor.

Для выходной переменной, то есть для ПЧР, диапазон задаем от 1 до 1000. Для примера зададим пять функций принадлежности треугольной формы (Рис.5).

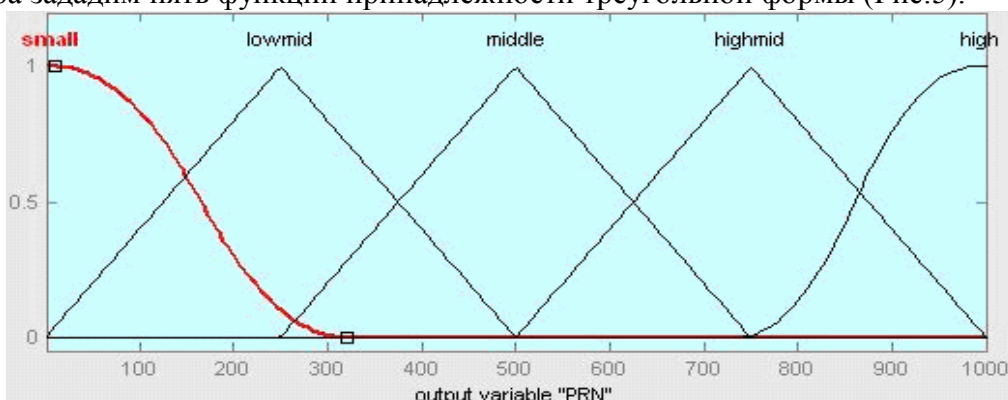


Рис.5. Функции принадлежности для шкалы ПЧР

1. If (solemnity\_S is dangerous) and (oscillation\_O is small) and (detection\_D is certainly) then (PRN is highmid) (0.8)
2. If (solemnity\_S is absent) and (oscillation\_O is small) and (detection\_D is certainly) then (PRN is small) (1)
3. If (solemnity\_S is moderate) and (oscillation\_O is small) and (detection\_D is certainly) then (PRN is lowmid) (1)
4. If (solemnity\_S is absent) and (oscillation\_O is moderate) and (detection\_D is certainly) then (PRN is lowmid) (1)
5. If (solemnity\_S is moderate) and (oscillation\_O is moderate) and (detection\_D is certainly) then (PRN is middle) (1)
6. If (solemnity\_S is dangerous) and (oscillation\_O is moderate) and (detection\_D is certainly) then (PRN is highmid) (1)
7. If (solemnity\_S is absent) and (oscillation\_O is high) and (detection\_D is certainly) then (PRN is lowmid) (1)
8. If (solemnity\_S is moderate) and (oscillation\_O is high) and (detection\_D is certainly) then (PRN is highmid) (1)
9. If (solemnity\_S is moderate) and (oscillation\_O is high) and (detection\_D is certainly) then (PRN is high) (0.5)
10. If (solemnity\_S is absent) and (oscillation\_O is small) and (detection\_D is moderate) then (PRN is lowmid) (0.5)
11. If (solemnity\_S is moderate) and (oscillation\_O is small) and (detection\_D is moderate) then (PRN is lowmid) (1)
12. If (solemnity\_S is dangerous) and (oscillation\_O is small) and (detection\_D is moderate) then (PRN is middle) (0.8)
13. If (solemnity\_S is absent) and (oscillation\_O is moderate) and (detection\_D is impossibly) then (PRN is middle) (1)
14. If (solemnity\_S is moderate) and (oscillation\_O is moderate) and (detection\_D is impossibly) then (PRN is lowmid) (1)
15. If (solemnity\_S is dangerous) and (oscillation\_O is moderate) and (detection\_D is impossibly) then (PRN is highmid) (1)
16. If (solemnity\_S is dangerous) and (oscillation\_O is high) and (detection\_D is impossibly) then (PRN is highmid) (1)
17. If (solemnity\_S is moderate) and (oscillation\_O is high) and (detection\_D is impossibly) then (PRN is highmid) (1)
18. If (solemnity\_S is dangerous) and (oscillation\_O is high) and (detection\_D is impossibly) then (PRN is high) (1)

Рис.6. Итоговый набор правил

Определяем правила взаимодействия критериев (Рис.6):

Здесь возникает еще одна возможность для более гибкой оценки: редактор правил (Rule Editor) позволяет устанавливать значимость (вес) каждого правила – значение в скобках после каждого правила [5].

Совместную работу правил проверяем в окне (Рис. 7) просмотра правил (Rule Viewer):

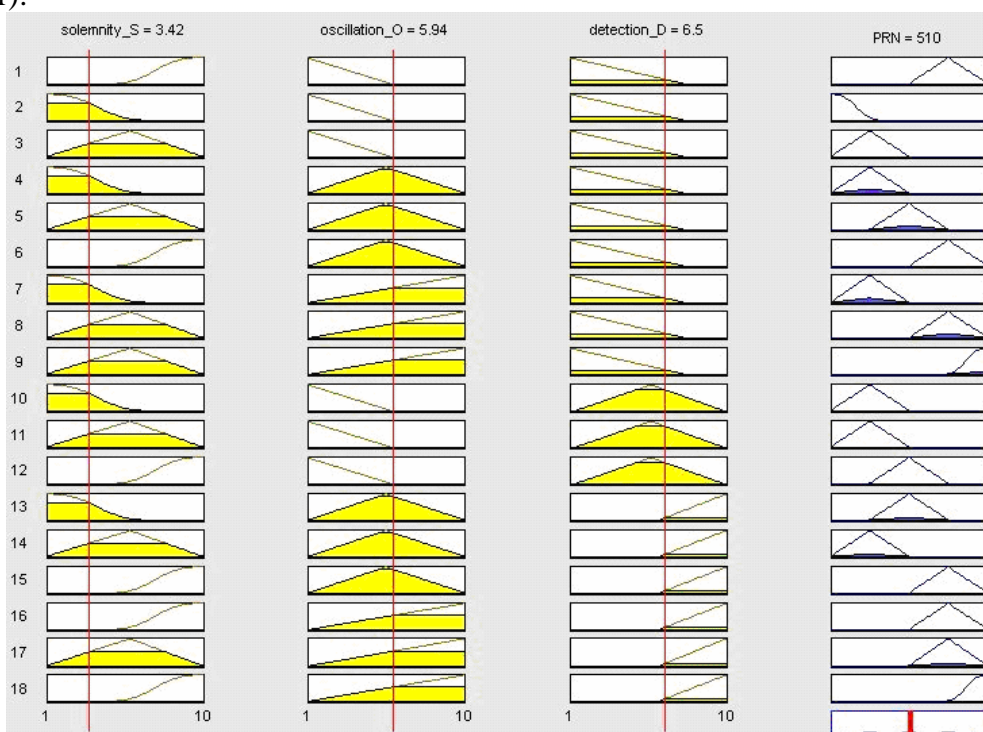


Рис.7. Окно просмотра правил

Подтверждением правильности отмеченных зависимостей выходной переменной (ПЧР) от входных (критериев SOD) может служить графический вид (Рис. 8 -10) зависимостей:

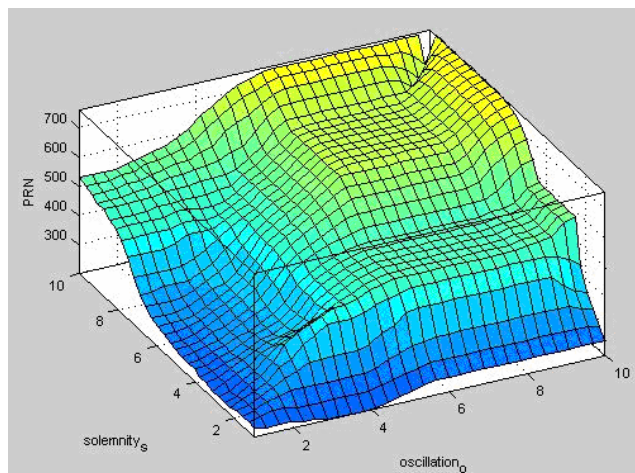


Рис.8. Графический вид зависимости выходной переменной ПЧР от входных S и O

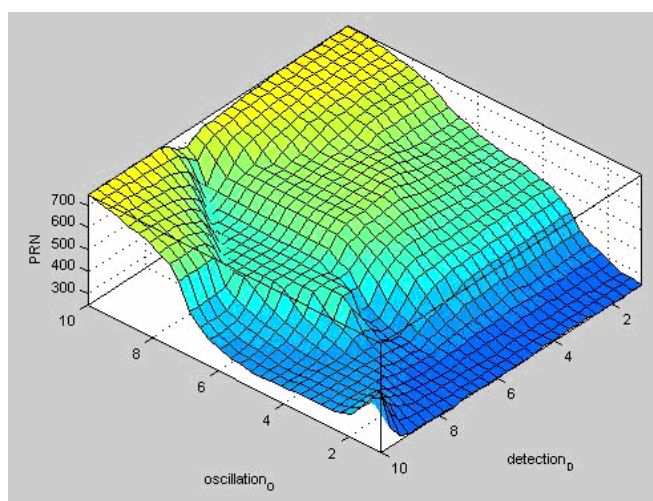


Рис.9. Графический вид зависимости выходной переменной ПЧР от входных D и O

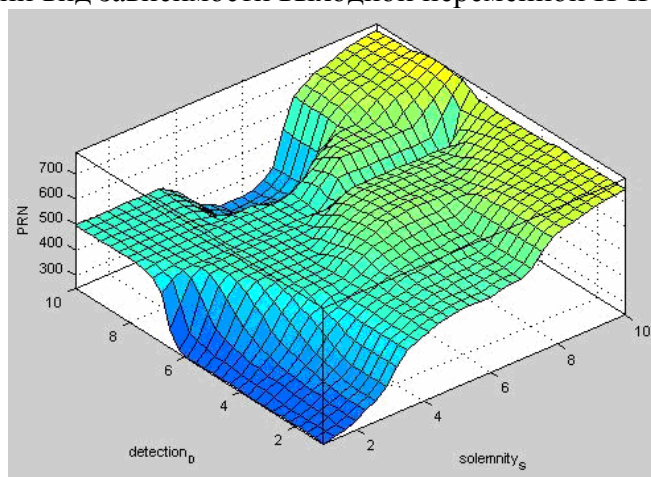


Рис.10. Графический вид зависимости выходной переменной ПЧР от входных D и S

Ввод данных по визуально линейным шкалам можно осуществить через предложенный интерфейс ввода (Рис.11), реализованный при помощи пакета Simulink [5],

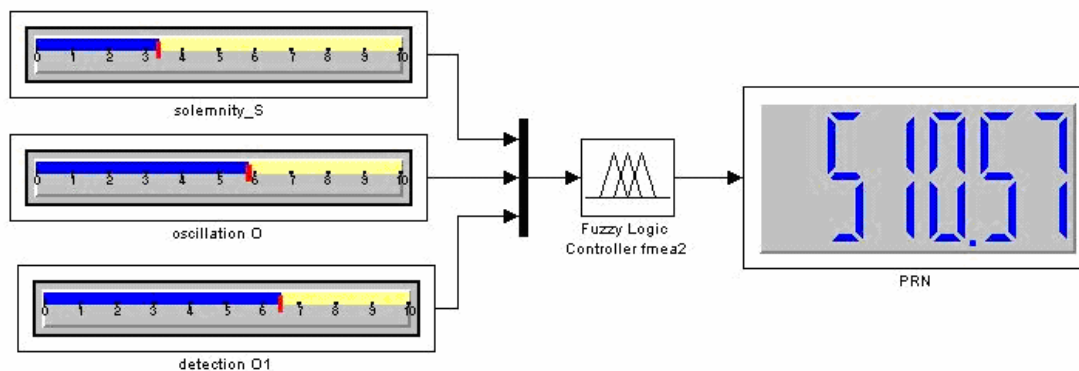


Рис. 11. Інтерфейс вводу

Таким образом, команда специалистов, применяющих метод FMEA на своем предприятии и используя аппарат нечеткой логики, сможет более точно определять ПЧР для своих конструкций, а также самостоятельно, в зависимости от отрасли и целей предприятия, заводить характер совместной работы факторов (критериев значимости, возможности обнаружения и частоты возникновения).

**Список литературы:** 1. ГОСТ Р 51814.2 – 2001 Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. 2. М.И.Розно. Как научиться смотреть вперед? Внедрение FMEA – методологии // Методы менеджмента качества. – 2000. - №6. – С.25 – 28. 3. М.И.Розно. Проектирование: с FMEA или без? // Стандарты и качество. – 2001. - №9. – С.74 – 78. 4. Анализ видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA). Методическое пособие. – Нижний Новгород: СМЦ «Приоритет», 2002. – 57с. 5. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480с.

Сдано в редакцию 26.05.06  
Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

## ВПЛИВ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ

**Бобир М.І., Грабовський А.П., Халімон О.П., Тимошенко О.В.**

(НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)

*Using parameters of variations of the elastic modulus and specific resistivity the research method of damage for elastic-plastic deformation of structural materials is considered. A detailed description of the damage test for structural materials of types steel 45, an stainless steel 12X18H10T, aluminum alloy Д16Т and titanic alloy BT22 is performed. Comparison of calculated results according to the offered model and results of damage tests for some metal constructional materials is carried out.*

Активне пружно-пластичне деформування, процеси повзучості та малоциклової втоми елементів конструкцій в зонах їх підвищеної навантаженості супроводжується накопиченням мікропошкоджень (виникненням мікропор та мікротріщин) в матеріалі. Підвищення точності прогнозування ресурсу експлуатації таких елементів конструкції на стадії їх інженерного проектування, або при конкретизації залишкового ресурсу на