

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 519.21

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СИНТЕЗА МОДЕЛИ СС

В. И. Большаков, д. т. н., проф., Ю. И. Дубров, д. т. н., проф.

Ключевые слова: случайные факторы, функция отклика, экспертная оценка

Как пример применения нетрадиционной экспертной системы (ЭС) предлагается рассмотреть моделирование качественных характеристик материала, которое является собственно многомерной задачей в материаловедении. Объектом исследования многомерной задачи материаловедения может быть любой материал, который является сложной системой (СС) (см. раздел «Постановка задачи»). Возьмем, к примеру, сталь, которая на данном этапе развития промышленности является одним из наиболее широко используемых материалов в различных отраслях народного хозяйства. Именно по этим причинам целесообразно провести апробацию ЭС, которая применяется для идентификации качественных характеристик информационно емкого¹ объекта.

В качестве такого объекта нами была выбрана сталь марки 35ХМ. Данный выбор, в первую очередь, обоснован информативностью данного материала – с точки зрения материаловеда. Данная сталь легирована шестью элементами (углерод, хром, марганец, никель, молибден, кремний), которые оказывают ключевое влияние на свойства, необходимые при эксплуатации изделий из стали 35ХМ. Таким образом, можно судить о «вкладе» каждого из элементов в комплекс свойств, а также оценить их совместное влияние, что было бы проблематично при большем количестве легирующих элементов и не достаточно информативно при меньшем. Сталь 35ХМ является жаропрочной и релаксационностойкой, изделия, выполненные из этого материала (валы, шестерни, фланцы), работают в условиях нагружения и повышенных температур.

Реализация ЭС1 на примере идентификации качественных характеристик стали 35ХМ.

Данная программа разрабатывалась в целях формализации процесса формирования вербальных и математических моделей различных явлений.

Назначение данной программы – предоставить пользователю элементарный сервис по сбору, вводу, хранению и анализу данных, получаемых в ходе процесса построения модели явления.

Предполагаемый сценарий построения модели явления включает следующие этапы:

- 1) постановка задачи;
- 2) параметризация задачи;

3) построение математической и вербальной модели явления в виде системы одноместных функциональных зависимостей между параметрами и описания предполагаемых механизмов, лежащих в основе этих зависимостей.

Запуск программы производится двойным щелчком левой кнопки мыши по иконке программы на рабочем столе Windows или в папке размещения исполняемого файла программы.

После запуска отображается главное окно программы. Оно содержит программное меню (строка «Сеанс Этапы Справка») и программную панель со страницами с закладками «Задача», «Параметры» и «Зависимости».

В начале работы программа загружает демонстрационный пример.

Для начала работы над новой задачей следует выбрать пункт меню «Сеанс – Новая задача», и, если необходимо, сохранить данные текущего сеанса.

Для получения подсказки по использованию некоторого элемента интерфейса (поля ввода, графика и т. д.) следует на некоторое время «зависнуть» курсором мыши на элементе –

¹Под информационной емкостью подразумевается то количество информации, которое будет достаточно точно отображать влияние параметров на функции цели.

появится подсказка.

Этап 1. Постановка задачи. Этап постановки задачи включает: определение предметной области, к которой принадлежит исследуемое явление; формулировка названия задачи; построение вербального описания внешней стороны исследуемого явления; определение целей моделирования.

Сразу после запуска активна закладка «Задача». Здесь необходимо ввести вербальное (текстовое) описание постановки задачи. Переход между полями ввода производится нажатием клавиши Tab или выбором мышью требуемого поля.

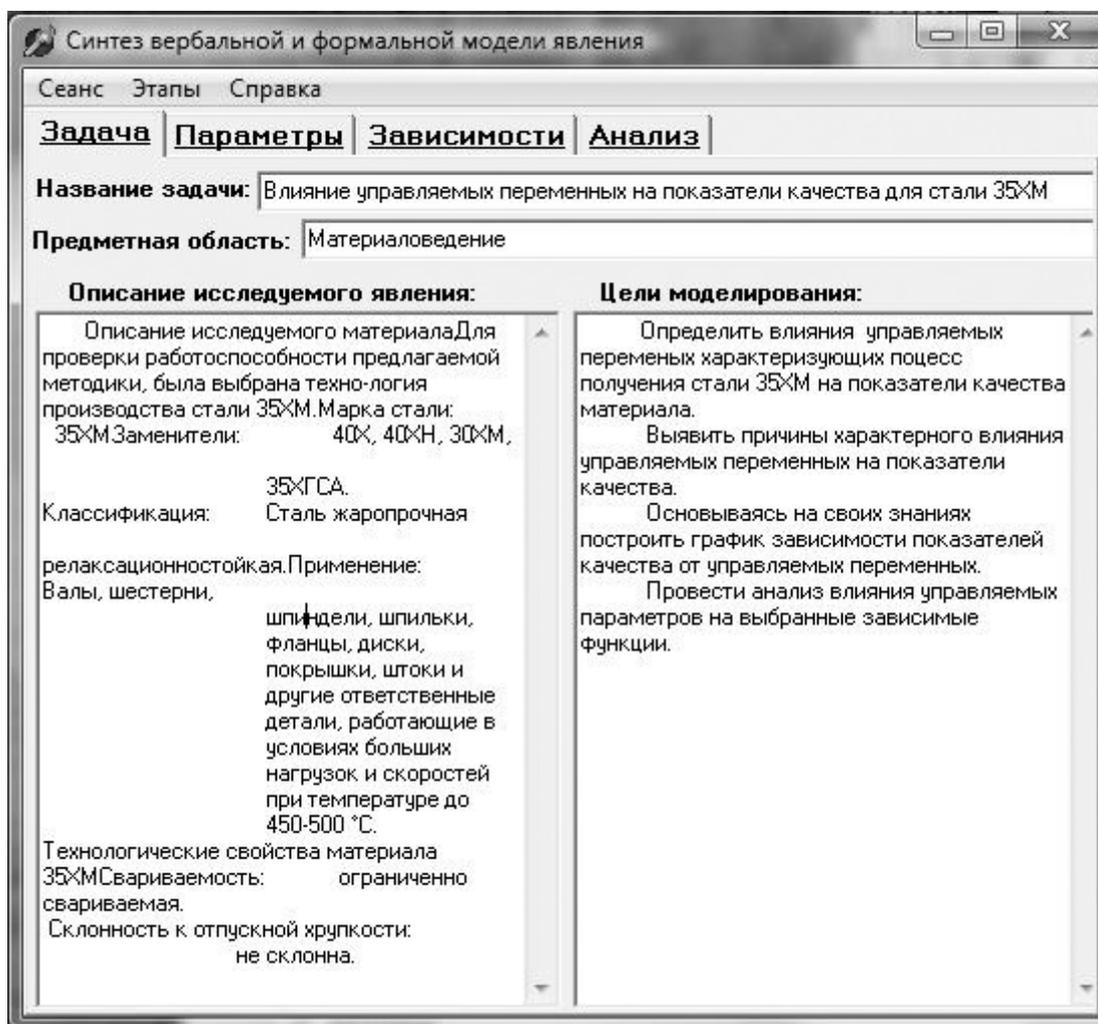


Рис. 1. Этап 1. Постановка задачи

На рисунке 1 представлен первый этап реализации ЭС1 для стали 35ХМ. В этом окне программы следует указать собственно задачу исследования, предметную область, дать описание исследуемого материала (классификацию, применение, особенности процесса производства), также на данном этапе следует отметить цели моделирования (получение зависимости, значений свойств и т. д.). Данная информация является отправной точкой для проведения тщательной исследовательской работы по моделированию материала, именно поэтому стоит обратить пристальное внимание на формирование первого этапа исследования.

После того как заполнены все поля ввода («Предметная область», «Название задачи», «Описание явления» и «Цели моделирования»), для перехода к вводу параметров задачи следует выбрать мышью закладку «Параметры» или в меню – пункт «Этапы – Параметризация».

Этап 2. Параметризация. Этап параметризации предполагает формирование списков неуправляемых, управляемых и целевых параметров явления.

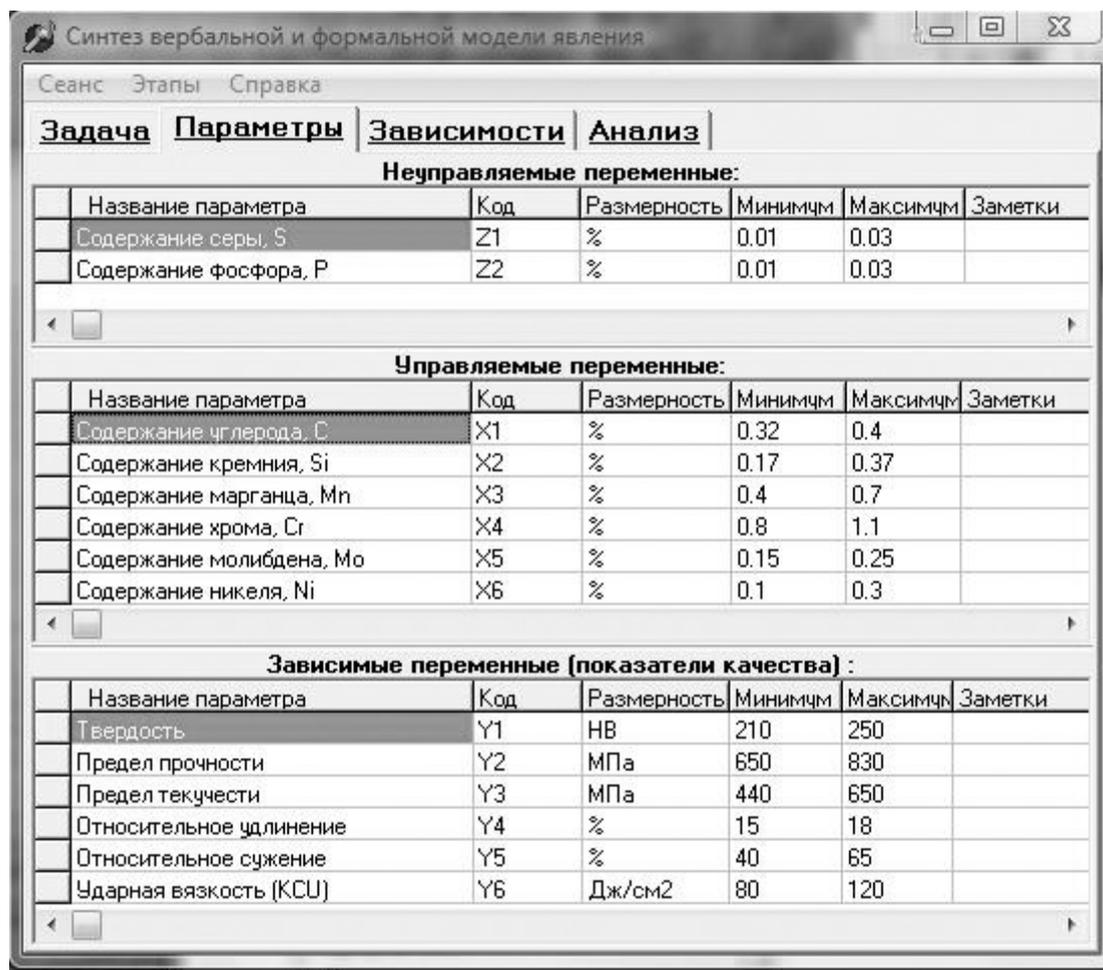


Рис. 2. Этап 2. Параметризация

Описание параметра включает: название параметра; кодовое имя, под которым параметр будет фигурировать в математической модели; рабочую размерность параметра; нижний и верхний пределы изменения параметра, а также вербальное описание параметра.

На странице «Параметры» вводятся описания параметров исследуемого явления. Описание параметра состоит из: названия – произвольной текстовой строки; кодового имени, состоящего из одного или нескольких латинских букв и цифр, начинающегося с буквы (напр.: a, ro1, sigma); размерности параметра – непустой символьной строки; минимального и максимального значения, которые может принимать параметр – числа задаются в обычном или экспоненциальном формате, с десятичной точкой – разделителем дробной части, максимум должен быть больше минимума; заметки – краткого пояснения к параметру – может быть пропущена. Для перехода к следующему полю описания параметра после завершения ввода текущего поля следует нажать клавишу Enter или выбрать очередное поле мышью.

Если ввод в текущем поле некорректен, перехода к следующему полю не происходит, в этом случае необходимо ввести корректное значение. Возможные ошибки – пропуск ввода поля, использование русских букв и спец. знаков в поле «Кодовое имя», использование запятой вместо точки при вводе чисел, ввод максимума, меньшего, чем минимум.

Переход между разделами производится нажатием клавиши Tab или выбором раздела мышью. Удаление описания параметра производится нажатием сочетания клавиш «Ctrl – Y».

Для осуществления данного этапа необходимо определиться с функциями цели, которые следует изучать. В рассматриваемом случае принимаем за функции цели комплекс механических свойств стали 35ХМ – твердость, ударная вязкость, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение. Следует указать (допустимый) предполагаемый диапазон варьирования каждой функции цели.

Следующим шагом является заполнение полей «Управляемые переменные» и «Неуправляемые переменные». Для стали 35ХМ управляемые переменные – это легирующие

элементы, а неуправляемые переменные – это те примеси, от присутствия которых невозможно избавиться (сера, фосфор) и процентное содержание которых. Поэтому для всех параметров необходимо указать пределы варьирования при проведении исследования.

Следует обратить внимание, что пределы варьирования параметров должны быть такими, чтобы давать адекватные результаты и при получении зависимостей состав – свойства, данная зависимость была линейной на рассматриваемом отрезке.

Этап 3. Геометрическая интерпретация зависимости функции цели от параметра (управляемой переменной). После завершения ввода параметров для перехода к исследованию зависимостей требуется выбрать закладку «Зависимости» или пункт меню «Этапы – Определение функциональных зависимостей».

Этап построения математической модели явления предполагает формирование системы одноместных взаимозависимостей между параметрами. Для каждой зависимости предполагается определить: название, параметр-аргумент, параметр-функцию, значения остальных параметров. После этого производится экспертная оценка зависимости, заключающаяся в построении описывающей её кривой. Следующий шаг – формализация введённой кривой, предполагающая построение соответствующей ей аналитической зависимости. После чего выбираются реперные точки модели и проводятся эксперименты, на основании полученных экспериментальных данных и статистических оценок построенная модель корректируется. Процесс повторяется до достижения требуемой адекватности математической модели.

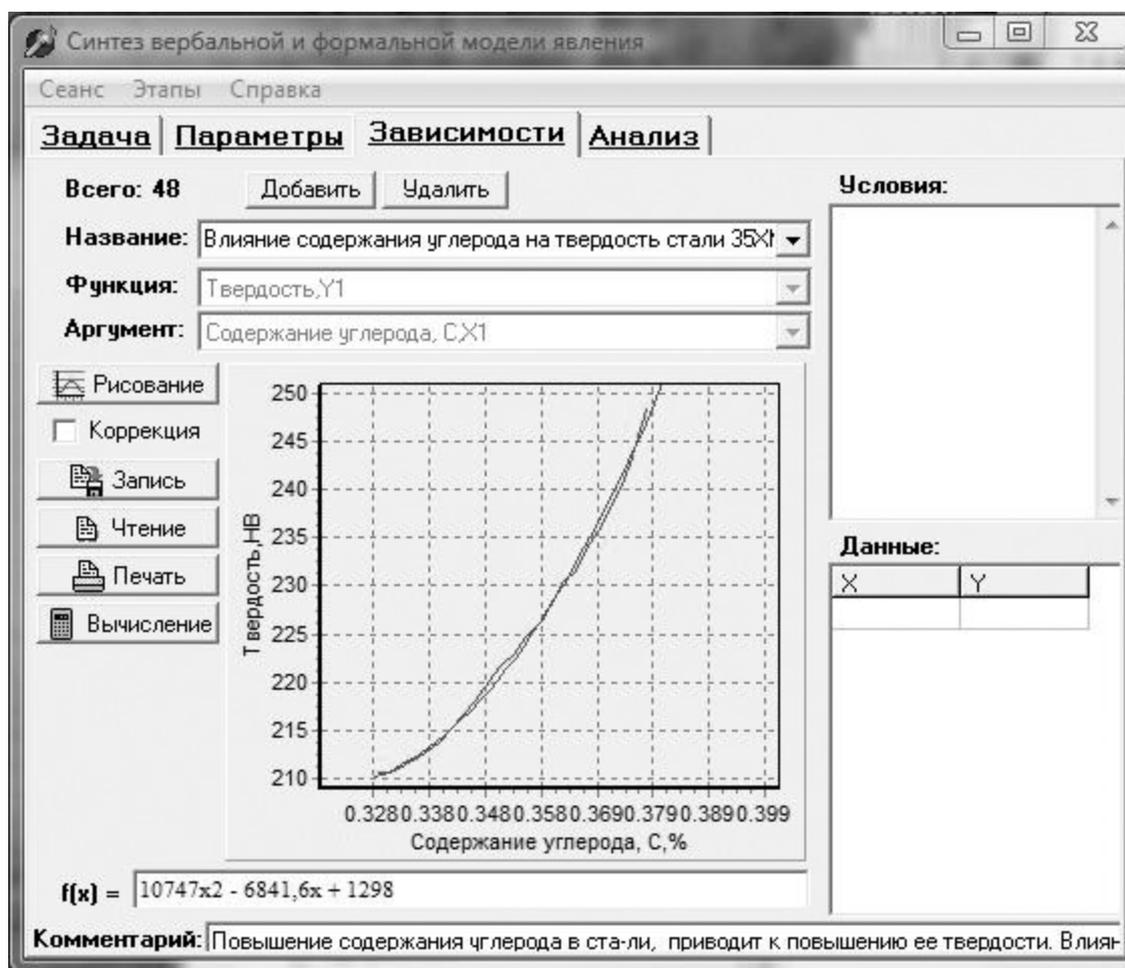


Рис. 3. Этап 3. Создание графиков зависимости функции цели от параметров

Кнопки «Добавить» и «Удалить» предназначены для добавления новой зависимости и удаления текущей соответственно. В поле «Всего:» отображается общее число введенных зависимостей.

Поле «Название» требует ввода названия зависимости. Оно также используется для

перехода между исследуемыми зависимостями – нажатием мышью кнопки раскрытия списка справа от поля ввода и выбором нужной зависимости.

Поля «Аргумент» и «Функция» служат для выбора независимой и зависимой переменной из списка введенных параметров. Следует нажать мышью кнопку раскрытия списка поля ввода и выбрать нужный параметр.

В поле «Условия» следует ввести значения других параметров.

Для ввода экспертной кривой необходимо нажать мышью кнопку «Кривая», затем перевести курсор мыши на поле графика и, нажав и удерживая левую кнопку мыши, нарисовать мышью линию, отображающую экспертную оценку зависимости. Для повторного ввода неудачно введенной кривой достаточно еще раз нажать кнопку «Кривая».

Для редактирования ввода кривой необходимо нажать мышью кнопку «Режим», при этом на графике будут отображены узловые точки кривой. Их можно удалять и добавлять щелчком мыши. Для завершения редактирования кривой следует еще раз нажать мышью кнопку «Режим».

Набор координат точек, составляющих экспертную кривую, можно сохранить для статистической обработки в программе MSExcel, для этого требуется нажать мышью кнопку «Сохранить», выбрать тип файла – «Для импорта из MSExcel», задать имя файла и нажать кнопку «Сохранить» окна выбора файла. (Для импорта в MSExcel требуется запустить программу Excel, выбрать пункт меню «Файл – Открыть», выбрать «Все файлы» в поле ввода типа файла, выбрать каталог, в котором сохранен файл с координатами точек кривой (с расширением .txt) и открыть этот файл, выбрав его мышью и нажав кнопку «Открыть». В появившемся окне следует дважды нажать кнопку «Далее», затем кнопку «Готово».)

В поле ввода $f(x)=$ вводится математическое описание полученной зависимости как функция от переменной X. В выражении допускается использование чисел в простом и экспоненциальном формате, знаков операций +, -, *, /, ^ (возведение в степень), а также функций exp (экспонента, e^x), ln, lg (натуральный и десятичный логарифм), abs (модуль числа), sin, cos, tan, asin, acos, atan, sqrt (квадратный корень), sign (знак числа).

Знак умножения * после числа перед именем «x» может быть опущен. Знак возведения в степень ^ после имени «x» перед степенью может быть опущен. В случае ошибки в выражении цвет вводимых символов меняется на красный. Для проверки ввода достаточно нажать клавишу «Enter».

Примеры выражений:

$$0.1 * x^2 + \ln(x);$$

$$5E + 1x3 - 0.23x2 + 2x + 1.$$

Для получения линии тренда, приближающей полученную экспертную кривую, в программе MSExcel следует отметить мышью участок таблицы, содержащий координаты точек кривой, запустить Мастер Диаграмм (пункт меню «Вставка – Диаграмма...» или кнопка с изображением диаграммы), далее выбрать тип диаграммы – «Точечная», нажать кнопку «Далее» три раза, затем кнопку «Готово». На полученном графике выбрать правой кнопкой мыши точки кривой, в контекстном меню выбрать пункт «Добавить линию тренда...». Затем выбрать тип линии тренда (обычно «Полиномиальная», следует задать степень полинома), далее, выбрав мышью страницу «Параметры», поставить галочку около текста «показывать уравнение на диаграмме». Полученное уравнение можно перенести мышью на свободное место диаграммы, после чего, выбрав уравнение правой кнопкой мыши, в меню выбрать «Формат подписей данных», далее выбрать страницу «Число», в ней – формат «Экспоненциальный», число десятичных знаков не ниже 3, далее нажать кнопку «ОК». Уравнение можно перенести через буфер обмена в программу: выделить мышью его часть после знака «=» до конца, нажать комбинацию клавиш «Ctrl – Ins», перейти в окно программы синтеза модели, выбрать поле ввода уравнения, нажать комбинацию клавиш «Shift – Ins».

В поле ввода «Данные» вводятся данные экспериментов, относящиеся к зависимости, в виде пар значений аргумент – функция. Вводимые данные должны принадлежать диапазонам изменения параметров, в противном случае ввод не принимается.

Чтобы вывести график зависимости на печать, требуется нажать кнопку «Печать», масштабировать график, захватив мышью край окна, и дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на изображении. При масштабировании график автоматически копируется в буфер Windows, поэтому для вставки его в редакторе MSWord или Paint достаточно выбрать в нем пункт меню «Правка – Вставить».

После построения математической модели может возникнуть необходимость в анализе влияния отдельных параметров на показатели качества. Здесь используется оценка влияния, основанная на разности максимального и минимального значения показателя качества (целевого параметра) при изменении в заданном интервале выбранного независимого параметра и фиксировании значений остальных параметров.

Этап 4. Анализ данных.

Для исследования влияния на показатели качества независимых параметров требуется выбрать пункт меню «Этапы – Анализ влияния параметров» или закладку «Анализ».

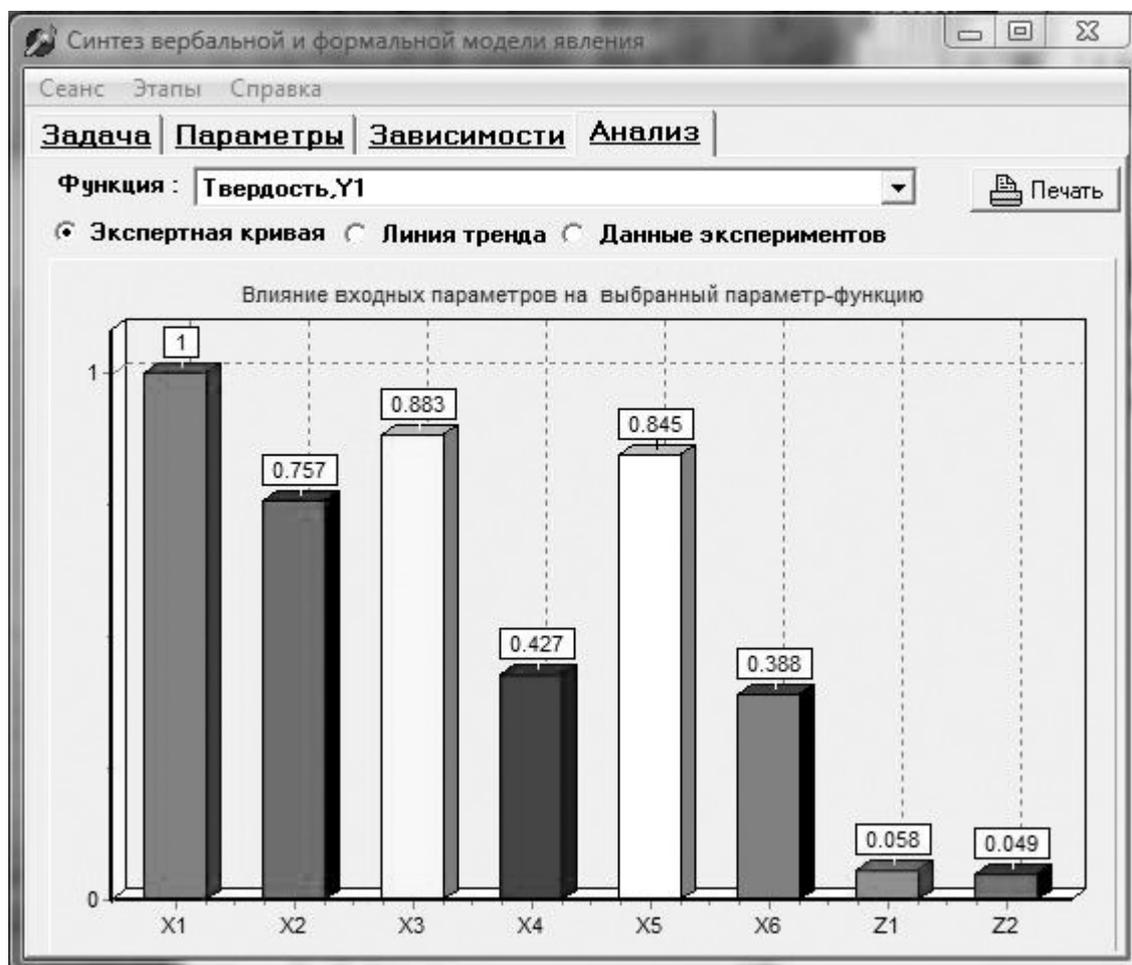


Рис. 4. Этап 4. Анализ данных

На странице «Анализ» требуется выбрать анализируемую функцию (показатель качества, целевой параметр) и способ ее описания (экспертная кривая, линия тренда или экспериментальные данные). На гистограмме будет отображены нормированные влияния всех параметров, находящихся с выбранным целевым параметром в функциональных зависимостях.

Для сохранения данных сеанса работы с программой следует выбрать пункт меню «Сеанс – Сохранить задачу», задать имя файла и нажать кнопку «Сохранить».

Для чтения сохраненных данных сеанса и продолжения работы над задачей следует выбрать пункт меню «Сеанс – Открыть задачу», выбрать сохраненный файл и нажать кнопку «Открыть».

Для выхода из программы следует выбрать пункт меню «Сеанс – Выход» или нажать сочетание клавиш «Alt – F4».

Область компромисса. После реализации ЭС1 мы получаем графики зависимости каждой функции цели от каждого параметра. Однако, это не дает нам возможности сопоставления значений функций цели от совокупности переменных, причем изменение одной переменной может привести к одновременному улучшению одной характеристики и ухудшению другой или нескольких. Таким образом, дальнейшим действием по решению многомерной задачи

материаловедения является нахождение так называемой области компромисса (в данном случае под областью компромисса понимается такое сочетание легирующих элементов, которое позволяет добиться наилучшего возможного сочетания механических свойств).

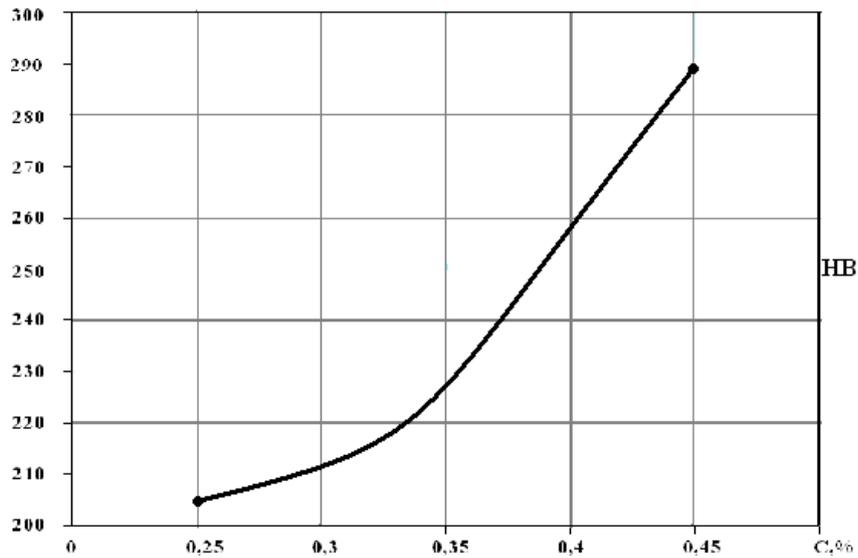


Рис. 5. Зависимость твердости для стали 35ХМ от содержания углерода

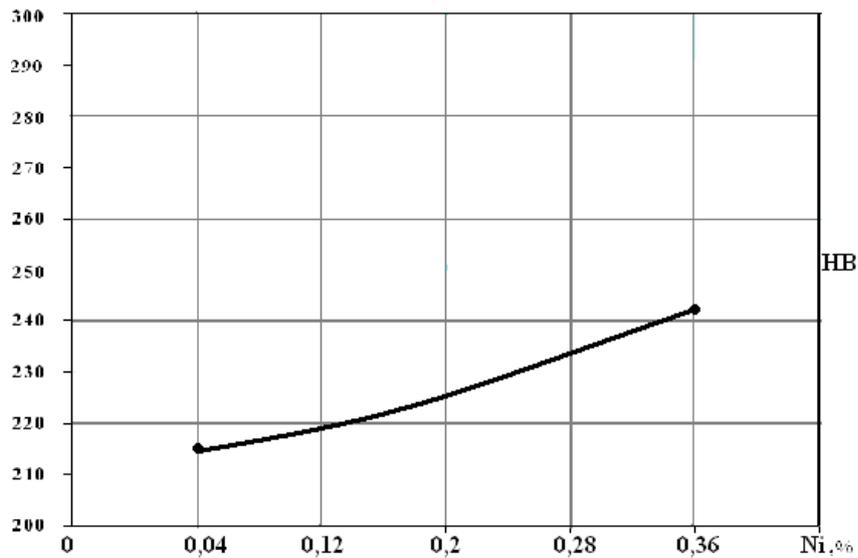


Рис. 6. Зависимость твердости для стали 35ХМ от содержания никеля

Итак, первоначально нам необходимо создать область субкомпромисса – то есть необходимо наложить графики зависимости каждой функции цели от всех параметров. Причем необходимо осуществить это в одном масштабе (рис. 5, рис. 6) для нормализации как по химическому составу, так и по механическим свойствам.

После нахождения областей субкомпромиссов для каждой функции цели для стали 35ХМ, мы получим следующие изображения (рис. 6, рис. 11).

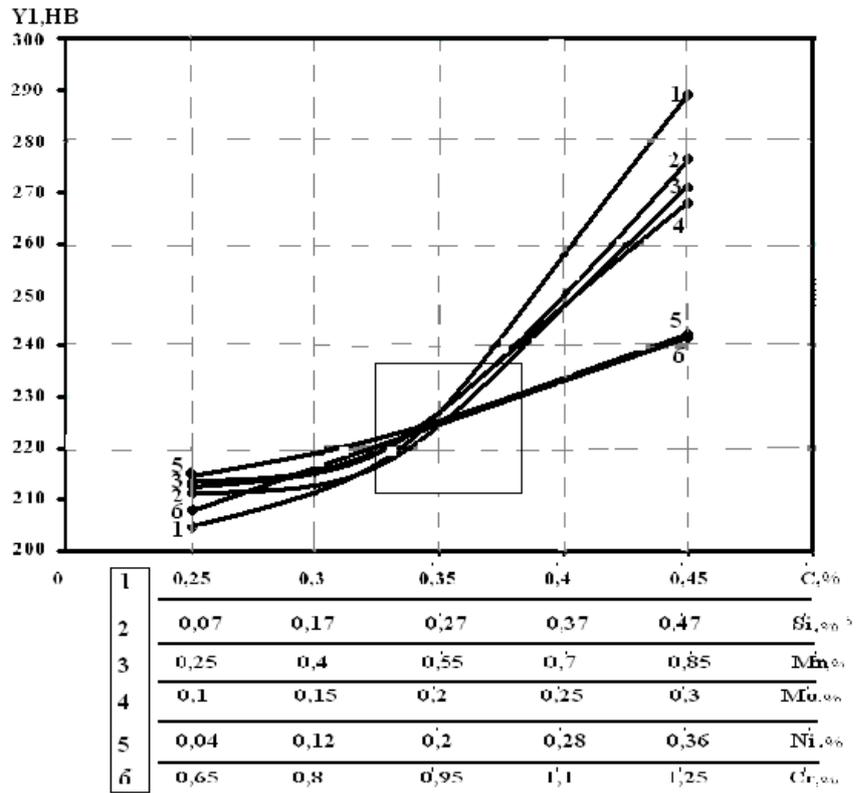


Рис. 7. Область суб-компромисса для твердости стали 35ХМ

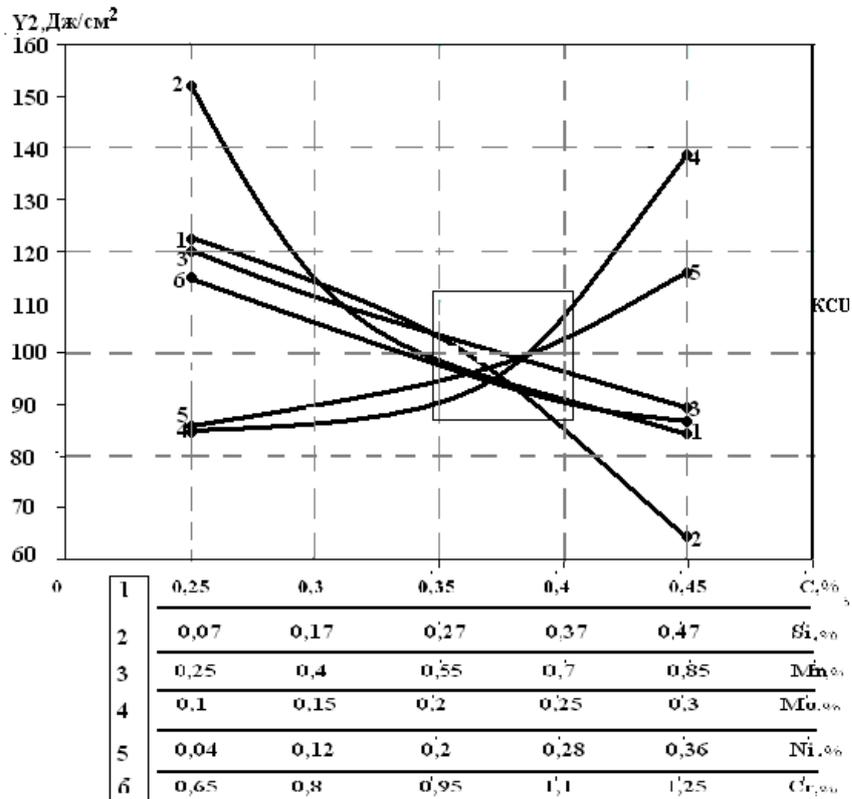


Рис.8. Область субкомпромисса для ударной вязкости стали 35ХМ

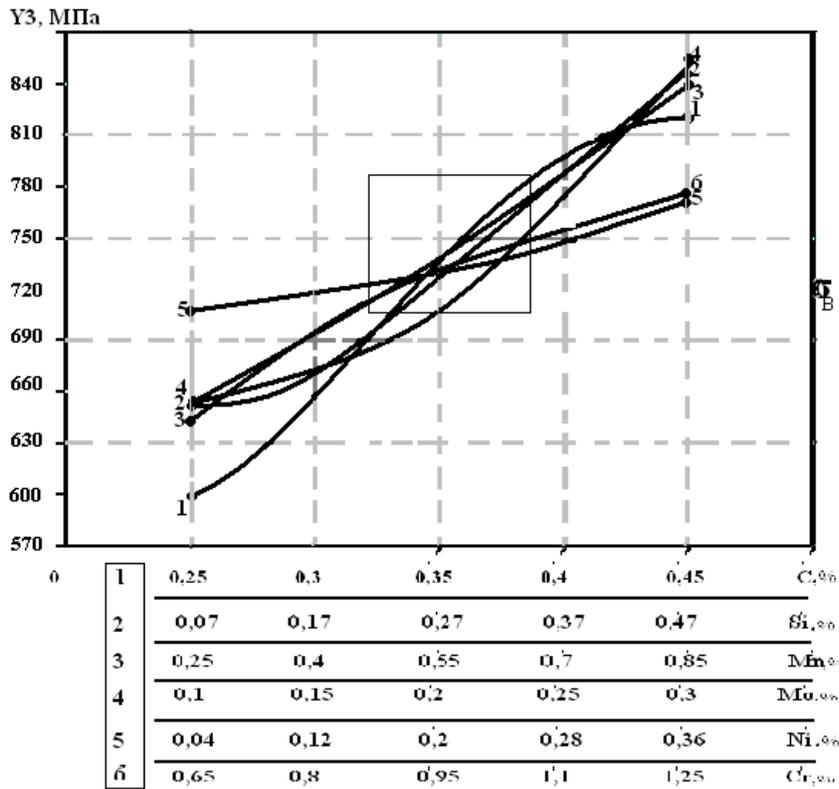


Рис. 9. Область субкомпромисса для предела прочности стали 35XM

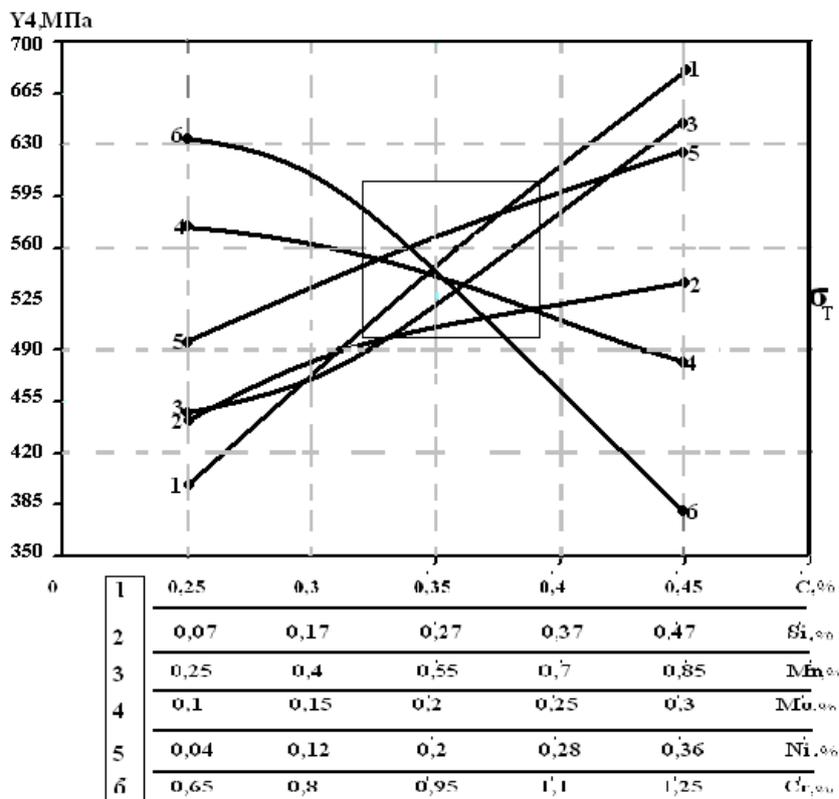


Рис. 10. Область субкомпромисса для предела текучести стали 35XM

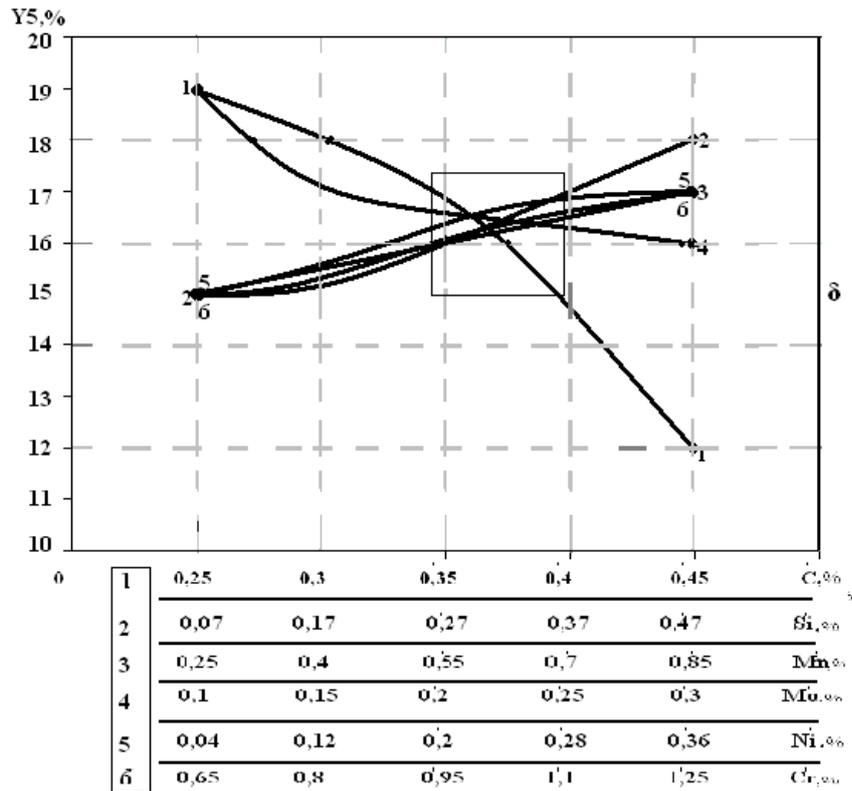


Рис. 11. Область субкомпромисса для относительного удлинения стали 35ХМ

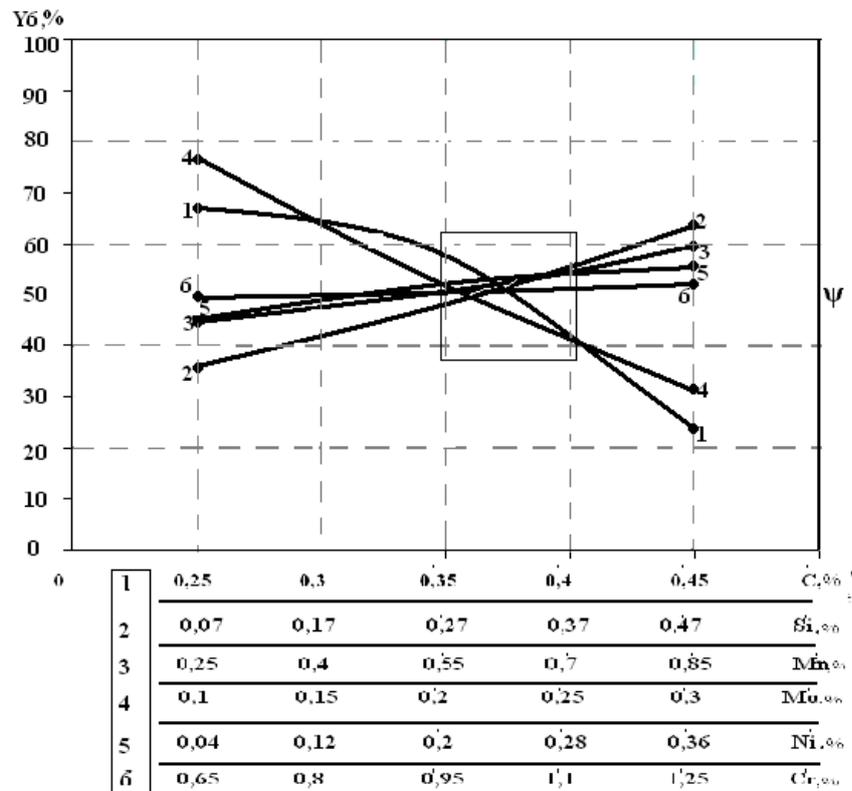


Рис. 12. Область субкомпромисса для относительного сужения стали 35ХМ

Следующим этапом является нахождение области компромисса для всех функций цели одновременно.

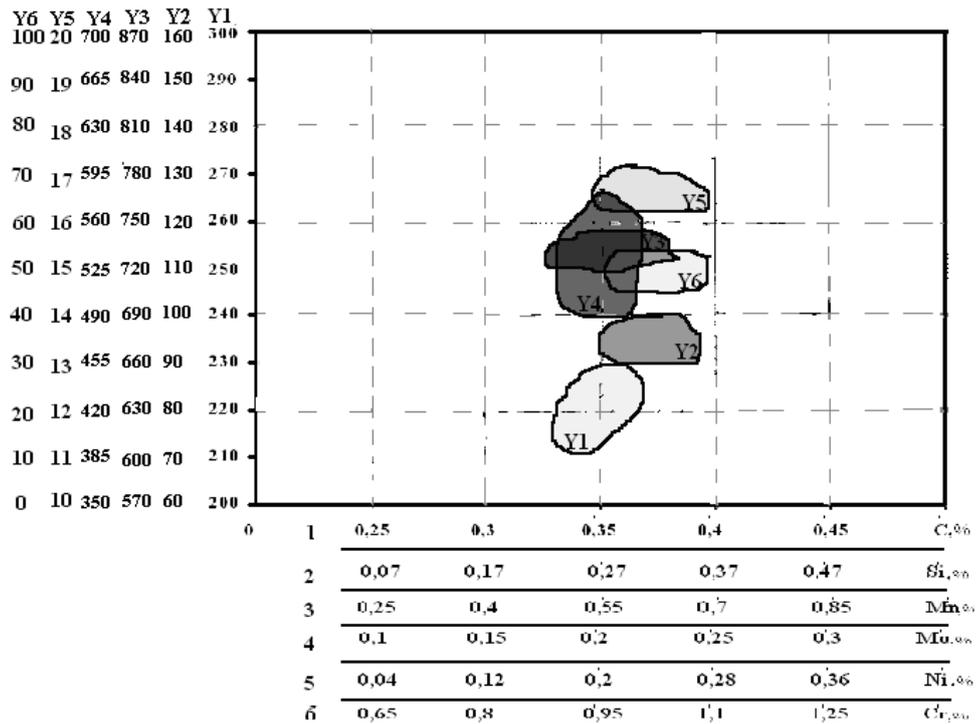


Рис. 13. Область компромисса для комплекса механических свойств стали 35XM

На рисунке 13 нанесены области субкомпромиссов, так что мы можем видеть, какими будут показатели качества при заданном химическом составе.

Так, например (рис. 14), при содержании всех элементов на уровне линии АВ механические свойства стали 35XM будут характеризоваться повышенными пластическими характеристиками и пониженными прочностными.

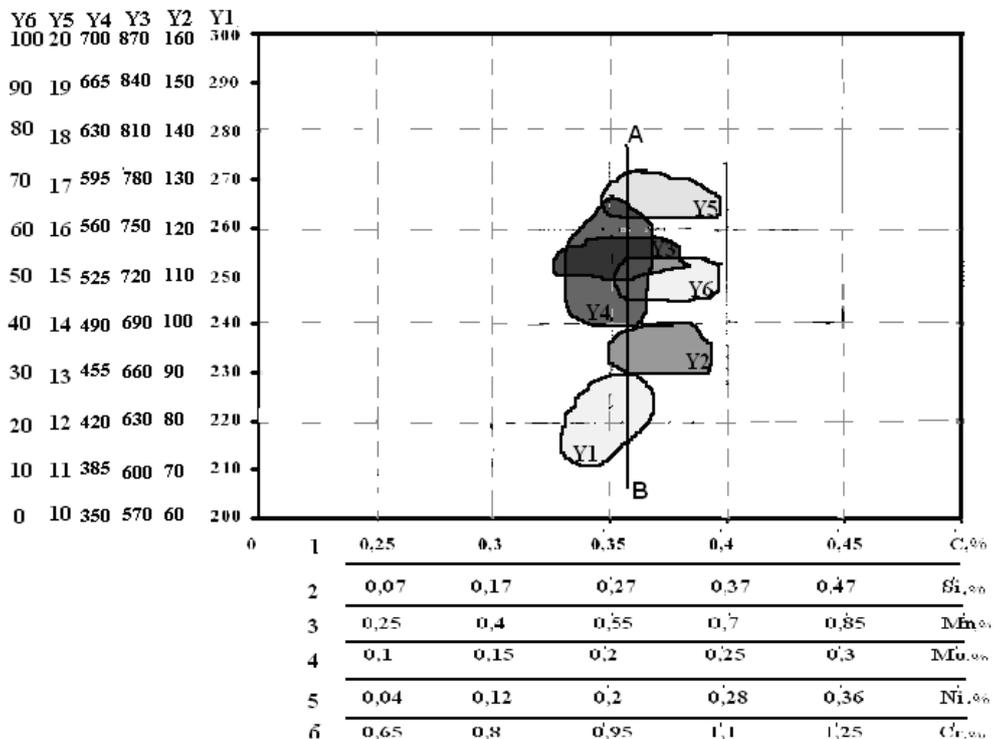


Рис. 14. Область компромисса для комплекса механических свойств стали 35XM при заданном химическом составе

Вывод. В данной работе освещаются аспекты решения многомерной задачи материаловедения как на теоретическом, так и на практическом уровне.

Раскрыто понятие размерности и ее компонент в задачах материаловедения, а также, что является ключевым, указаны способы так называемого уменьшения размерности.

Обоснованы требования к объекту исследования, его параметрам, чувствительность функций цели.

Понятие линеаризации подано в рамках решения задачи материаловедения.

В работе рассмотрены основные принципы создания и функционирования экспертных систем, разъяснены нюансы работы традиционной и нетрадиционной экспертной системы.

Представлена нетрадиционная экспертная система (использующая формирование информации в виде уравнений). Описан принцип работы данной системы ЭКС1 поэтапно.

Рассмотрен принцип определения области компромисса при моделировании механических характеристик материала.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Эйнштейн А. О методе теоретической физики // Сб. науч. тр. – М., 1967. – Т. 4. – 184 с.
2. Heisenberg W. Der Teil und das Ganze. Munchen, 1969, 212 p.
3. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики. – М. : Изд-во иностр. лит., 1947. – С. 50.
4. Нгуен Тхук Лоан. О некоторых методах синтеза самонастраивающихся систем управления с эталонной моделью //Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1971. – № 2. – С. 206 – 215.
5. Вулдридж Д. Механизмы мозга. – М. : Мир, 1965. – 465 с.
6. Растрингин Л. А. Статистические методы поиска. – М. : Наука, 1968. – 387с.
7. Растрингин Л. А. Случайный поиск в задачах оптимизации многопараметрических систем. – Рига : Знание, 1965. – 279 с.
8. Brooks S. H. A Discussion of Random Methods for Seeking Maxims, Operations Research, March – April, 1958. – 245 с.
9. Дубров Ю. И., Ковальчук Д. С. К вопросу об автоматической адаптационной оптимизации объектов со стохастическим дрейфом функции цели // Кибернетика. АН УССР, 1971. – № 4. – С. 112 – 119.
10. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. – Т. III. – М. : Физматгиз, 1963. – С. 393.
11. Федотов В. В. Теория оптимального эксперимента. – М. : Наука, 1971. – 437 с.
12. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 280 с.
13. Паск Г. Модель эволюции // Принципы самоорганизации. – М. : Мир, 1966. – С. 284 – 314.
14. Ивахненко А. Г. Свободу выбора вычислительной машине! Эргатические системы управления. – К. : Наукова думка, 1974. – С. 17 – 22.

УДК: 699.712:002.68

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ЦЕЛЬЮ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

А. П. Приходько, д. т. н., проф., Н. В. Шпирько, д. т. н., проф., Н. С. Сторчай, к. т. н., доц., А. Н. Гришко, асп., Ю. Н. Вечер, асп., Д. В. Кононов, асп., Б. В. Богданов, студ.

Ключевые слова: *суглинистое сырье, керамический кирпич, техногенные продукты производства, температура обжига, рентгенофазовый анализ, дифференциально-термический анализ*

Актуальность проблемы. В условиях современной экономики в связи с дефицитом высококачественного сырья и большими затратами на его транспортировку сложилась необходимость использовать в производстве керамического кирпича местное низкосортное