# *ИНФОРМАТИКА*

**УДК 517.551**

## МЯГКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НОМОГРАММ НА ПРИМЕРЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЗУЧЕСТИ

***канд. техн. наук, доц. Д.О. ГЛУХОВ, Т.М. ГЛУХОВА***
***(Полоцкий государственный университет);***
***д-р техн. наук, проф. С.П. КУНДАС***
***(Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова, Минск)***

*Рассматриваются мягкие вычисления для организации компьютерного представления номограмм на примере вычисления предельного коэффициента ползучести. Номограммы как способ представления знаний о сложных многомерных зависимостях получили широкое распространение в практике проектирования строительных элементов и конструкций. Использование номограмм для определения того либо иного параметра обусловлено удобством и малым временем приближенной оценки искомого параметра при относительной погрешности оценки порядка 5…10 %. Точное цифровое представление номограммы для ее использования в компьютерных вычислениях требует знания заложенных в нее математических моделей и зависимостей, что на практике, чаще всего, не применимо. В работе предлагается метод оцифровки номограмм с применением аппарата мягких вычислений.*

Разработка теории номографических построений началась в XIX веке. Первой была создана теория построения прямолинейных сетчатых номограмм (французский математик Л.Л.К. Лаланн, 1843). Основания общей теории номографических построений дал М. Окань (1884 – 1891 гг.); в его же работах впервые встречается название «Номограмма». Первым в России вопросами номограмм начал заниматься Н.М. Герсеванов (1906 – 1908 гг.). Большая заслуга в деле развития теории номограмм и организации номографирования инженерных расчётов принадлежит Н.А. Глаголеву, возглавлявшему советскую номографическую школу [1].

Теоретическая основа геометрических методов закладывалась в трудах Г. Монжа, Т. Шмидта, Ф. Клейна и получила особенное развитие в работах российских ученых: К.И. Валькова, В.Я. Волкова, И.С. Джапаридзе, И.И. Котова, Е.А. Мчедлишвили, В.С. Полозова, С.И. Роткова, П.В. Филиппова, В.И. Якунина и др. [3].

В строительстве геометрические методы играли важную роль при постановке и решении проектных задач, чему способствовали их наглядность и простота использования.

Теория геометрического моделирования позволила с помощью геометрических средств выполнить описание и исследование многопараметрических зависимостей, описывающих физические процессы и явления. Наибольшее влияние на достижения в этой области оказали работы по многомерной геометрии (К.А. Андреев, К.И. Вальков, В.Я. Волков, В.А. Волошинов, И.С. Джапаридзе, Л.И. Журкина, Л.Н. Лихачев, Е.А. Мчедлишвили, Л.А. Найниш, В.А. Осипов, А.Д. Посвянский, В.А. Тоидзе, Е.С. Федоров, П.В. Филиппов и др.), а также номографии (С.Н. Борисов, С.Н. Буланов, Н.А. Глаголев, Н.Ф. Четверухин, Г.С. Хованский и др.) [3].

В настоящее время графические и графоаналитические методы расчета нашли широкое применение в практике инженерно-конструкторского и технологического проектирования. Строительные нормы целого ряда стран изобилуют номографическими методами определения параметров проектируемых элементов и конструкций [2]. Применяются они и в отечественных нормах, в частности, в данной работе рассматривается номограмма определения предельного коэффициента ползучести, приведенная в СНБ 5.03.01-02 и используемая для определения величины реологических потерь предварительного напряжения.

**Основная часть.** В данной работе делается попытка решить обратную задачу – перевод готовых номографических построений в цифровую форму с целью автоматизации определения неизвестного значения по номограмме.

В качестве универсального аппроксиматора широко применяются системы мягких вычислений. В частности искусственные нейронные сети. Однако аппроксимация методом взвешенных сумм, в виде которой и строится модель нейронной сети, обладает рядом недостатков.

В данной работе в качестве универсального адаптивного аппроксиматора предлагается использовать аппарат нечеткой логики. Нечеткие логические системы, предложенные Лофти Заде [5], получили развитие в работах [6, 7].

Если рассматривать неизвестный параметр как непрерывный, то в этом случае можно провести параллель между выводом о значении неизвестного параметра и приближением функции и говорить о свойстве нечеткой системы выступать в роли лингвистического аппроксиматора [4].

**Предлагаемый метод реализации нечеткой логики.** Особенностью разработанного метода является переход только к унимодальным функциям принадлежности и отказ от описания областей, которые вызывают у нас сомнения и подозрения даже на стадии формализации.

Корректность такого подхода вытекает из рассмотрения нечеткой системы управления как лингвистического аппроксиматора, что разрешает проблему существенных понятийных искажений и, как выясняется, впоследствии позволяет с заданной точностью описать все промежуточные состояния.

Предлагается для представления нечеткости использовать автоматически генерируемые, симметричные унимодальные функции принадлежности, ненулевые на всей области определения. Наиболее удобной параметрической формой в рамках проведенных исследований из множества разработанных форм выбрана степенная функция следующего вида:

$$\mu\ x\ = \left(1 - \frac{|x - x_0|}{h}\right)^n.$$

Благодаря очевидности физического смысла параметров она легко настраиваема и, помимо обеспечения высокой, выше, чем для альтернативных форм, точности, является трансформацией треугольной формы и может при определенных условиях сводиться к последней.

Реализация t-нормы и t-конормы соответственно

$$T(x, y) = \min(x, y), S(x, y) = \max(x, y)$$

образует дистрибутивную решетку. Не выполняется только закон комплиментарности или

$$T(x, y) = x \cdot y, S(x, y) = 1 - (1 - x)(1 - y) \tag{1}$$

образует дистрибутивную решетку. Не выполняется только закон комплиментарности и идемпотентности.

Независимо от используемого метода дефазификации мы получаем выражение для результата вывода в виде некоторой линейной комбинации непрерывных функций, что обеспечивает непрерывность поверхности вывода и непрерывность производных любой степени. Следовательно, появляется возможность накладывать на решающую процедуру дополнительные ограничения, в виде требования монотонности результата, или производных, если предполагается, что данные обладают такими свойствами.

Например, для синглетонов имеем

$$Y\ x\ = \frac{\sum_i \mu_i(x) y_i}{\sum_i \mu_i(x)}. \tag{2}$$

Вывод второго порядка

$$\delta(x) = \frac{\sum_i \mu_i(x)(y_i - Y(x_i))}{\sum_i \mu_i(x)}.$$

Непрерывность результирующих выражений позволяет оценивать отклонение результата выводом о значении отклонения по отклонениям на узлах аппроксимации, что названо в работе выводом второго порядка. Вывод второго порядка корректирует результаты вывода первого порядка, повышая точность, однако не устраняет граничных искажений и значительно увеличивает число вычислительных операций.

**Формализация задачи аппроксимации.** Формально зависимость оцениваемого предельного значения коэффициента ползучести от учитываемых параметров можно определить функцией 4-х переменных

$$\Phi(h_0, f_{ck}, t_0, RH),$$

где $h_0$ – приведенная высота сечения; $f_{ck}$ – прочность бетона (числовой индекс класса бетона по прочности); $t_0$ – возраст бетона на стадии первого загружения; $RH$ – относительная влажность.

На рисунке 1 представлена разметка сетки аппроксимации для номограммы предельного коэффициента ползучести при относительной влажности *RH* = 50 %.

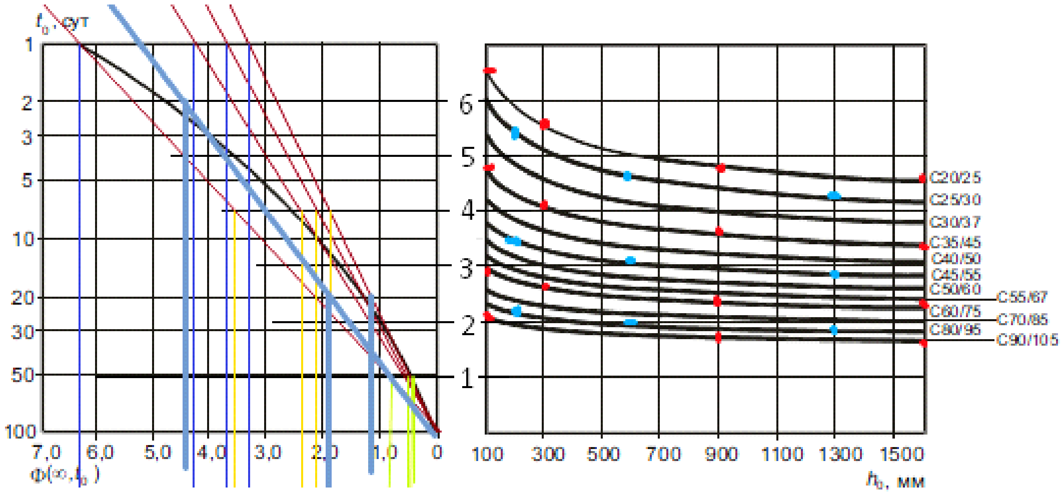


Рис. 1. Разметка сетки аппроксимации для номограммы предельного коэффициента ползучести при относительной влажности RH = 50 %

Номограмма состоит из двух частей. Правая часть определяет некую условную величину (уровень), по которой определяется точка на дуге левой части. Определим её как $f(h_0, f_{ck})$. Причем мы располагаем серией таких номограмм в соответствии с выбранными градациями по относительной влажности.

В левой части по полученной точке и начальной точке дуги строится секущая. Секущая определяет зависимость предельного значения коэффициента ползучести $\Phi(\infty,t_0)$ от момента первого загружения $t_0$.

Таким образом, задача аппроксимации предельного значения коэффициента ползучести $\Phi(\infty,t_0)$ от всех исходных параметров трансформируется в задачу последовательности из двух 3-х параметрических приближений:

1) $f(h_0, f_{ck}, RH)$;

2) $\Phi(f, t_0, RH)$.

Приведем результаты реализации нечеткого аппроксиматора на примере аппроксимации функции условного уровня *f*.

Построим таблицу 4-мерных точек в пространстве $h_0 x f_{ck} x RH x f$.

Для удобства визуального восприятия класс бетона будем задавать не значением нормативной прочности $f_{ck}$, а значением соответствующей данному классу прочности бетона кривой при $h_0 = 100$.

$v^T$ =

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 300 | 500 | 700 | 900 | $1{,}1\cdot10^3$ | $1{,}3\cdot10^3$ |
| 1 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 |
| 2 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 3 | 6,5 | 5,5 | 5,2 | 4,95 | 4,8 | 4,7 | … |

Определим параметры аппроксиматора

$$h_0 := 600,\ h_1 := 10,\ h_2 := 50,\ p := 5.$$

Введем функцию расстояния:

$$d(a,b,c) := \begin{vmatrix} |a-b| \ \ if \ \ |a-b||a-b| < c \\ c \ \ otherwise \end{matrix} .$$

Согласно формулам (1) и (2) для дефазификации методом центра тяжести с использованием конъюктивного предиката имеем:

$$f(x) := \frac{\sum_{i=0}^{rows(v)-1}\left[\prod_{j=0}^{rows(x)-1}\left[\left(1-\frac{d(v_{i,j},x_j,h_j)}{h_j}\right)^p\right]\cdot v_{i,3}\right]}{\sum_{i=0}^{rows(v)-1}\prod_{j=0}^{rows(x)-1}\left[\left(1-\frac{d(v_{i,j},x_j,h_j)}{h_j}\right)^p\right]};$$

$$F(x,y,z) = f\left[(x\;y\;z)^T\right].$$

Рисунки 2, 3 иллюстрируют результат аппроксимации функции условного уровня для определения предельного коэффициента ползучести.

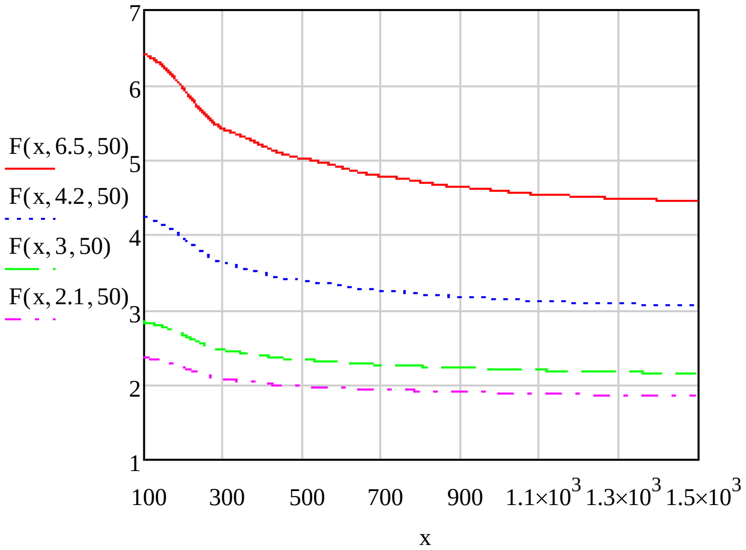


Рис. 2. Поверхность аппроксимации для условного уровня
для относительной влажности *RH* = 50 %

F(100, 6.5, 50) = 6.529   F(100, 3, 50) = 2.661   F(100, 6.5, 80) = 4.667   F(100, 2.1, 80) = 1.802

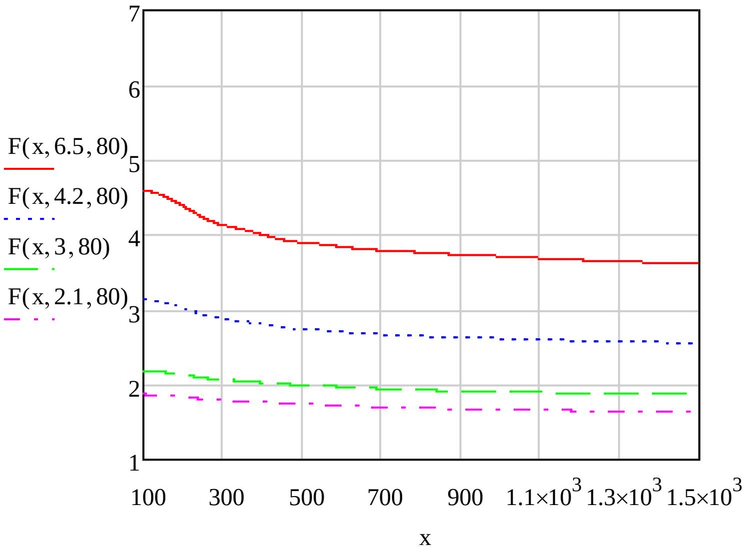


Рис. 3. Поверхность аппроксимации для условного уровня
для относительной влажности *RH* = 80 %

Оценка точности показала, что максимальное отклонение искомого параметра от определенного вручную по номограмме составило 0,17 условного уровня. Оценка выполнялась на более мелкой сетке в увеличенном масштабе, что обеспечивало более высокую точность контрольных значений.

С учетом того, что на исходной номограмме толщина линий кривых составляет от 0,1 до 0,2 условного уровня, полученная погрешность не превосходит погрешности ручного определения условного уровня по номограмме.

**Выводы:**

1) нечеткая логическая система может быть с успехом применена в качестве универсального аппроксиматора для компьютерного представления многомерных номограмм;

2) точность представления нечеткой моделью не ниже точности определения параметра по номограмме, что проиллюстрировано на примере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экстраполирование, номография и прочее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.msun.ru/ /vm/DVGMA/www/SVM/Vga/Ekstropolir.htm.
2. Design Aids For Reinforced Concrete to IS: 456-1978. – Bureau of Indian standards. – Bahadur Shah Zafar Marg: New Dlehi, 12-th reprint 2000.
3. Волошинов, В.А. Новые инструментальные средства геометрического моделирования для решения научно-технических задач / В.А. Волошинов, Д.В. Волошинов // Науч.-техн. ведомости СПбГТУ. – 1996. – № 3(5). – С. 41.
4. Driankov, D. An introduction to fuzzy control / D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank. – Springer-verlag, 1993.
5. Zadeh, Lotfi A. Fuzzy Sets / Lotfi A. Zadeh // Information & Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338 – 353.
6. Trofimov, V. Algorithm of ecological monitoring by fuzzy production rules / V. Trofimov, A. Gloukhov, D. Gloukhov // 2-nd International Conference Ecology and Society’s Development Abstracts. – St.P.: МАНЭБ, 1997. – P. 166.
7. Glukhov, D.O. Dynamic expert system by fuzzy inference rules to automations an examination of complex objects / D.O. Glukhov // Budownictwo i Inzynieria Srodowiska. – Zielonogorsk: Politechnika Zielonogorska, 1998. – P. 105 – 109.

*Поступила 04.03.2010*

**SOFT COMPUTING FOR THE COMPUTER REPRESENTATION OF NOMOGRAM OF LIMIT CREEP FACTOR**

***D. HLUKHAU, T. HLUKHAVA, S. KUNDAS***

*Nomograms as a way of representing knowledge about complex multivariate dependencies are widely used in the practice of design of building elements and structures. Use of nomograms to determine whether any other option due to the convenience and small time approximate estimate of the unknown parameter with a relative error of estimates of the order of 5…10 %. Exact digital representation of a nomogram for use in computer calculations require knowledge of its mathematical models and relationships that, in practice, most often, not applicable. We propose a method of digitizing nomograms using the apparatus of soft computing.*