

П. П. Урбанович, проф., д-р техн. наук;  
В. Л. Колесников, проф., д-р техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПО СИСТЕМНОМУ АНАЛИЗУ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ**

Эффективность инженерного образования в значительной степени зависит от того, насколько учебный процесс приближен к производственной деятельности.

Было бы идеально в организационной структуре ВУЗа иметь реальный производственный комплекс, обслуживающий только интересы обучаемых, и являющийся основным источником информации для моделирования, оптимизации и системного анализа.

По понятным причинам идеальный вариант не доступен, поэтому перспективно и плодотворно натуральный производственный объект заменить его математическим аналогом, и далее – математическую модель преобразовать в компьютерную на основе доступных технологий.

На кафедре информационных систем и технологий Белорусского государственного технологического университета создана системная математическая модель производственного комплекса (утилизации волокнистых отходов), имитирующая в динамике основные условия функционирования прототипа.

Описание проблемы. В любой стране образуются многотоннажные волокнистые отходы, которые необходимо утилизировать. В первую очередь к ним относятся: макулатура, короткие волокна от стрижки искусственного меха, кожевенные отходы в виде хромовой стружки и краснодубной вырубки, стеклянные, угольные и металлические волокна. В однородное волокнистое вторичное сырье можно превратить отслужившие свой срок одежду и обувь.

Наиболее простой и эффективный способ использования волокнистых отходов – получение листовых материалов типа бумаги или картона.

Особенности образовательной технологии. Учебный процесс строится на основе созданного Интернет/Интранет-портала с возможностью как локального, так и удаленного доступа преподавателя и студента к соответствующим ресурсам. На сервере инсталлировано многомодульное программное средство «Complex».

Поскольку все параметры производственного комплекса, связывающие его с окружающей средой, носят ярко выраженный случай-

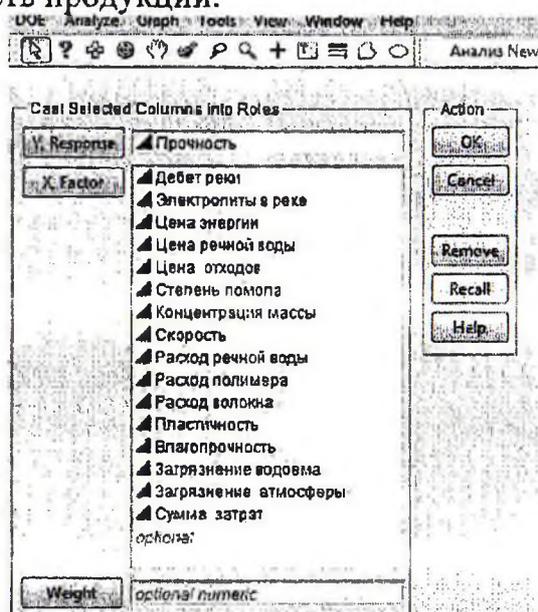
ный характер, то двумерную таблицу наблюдений, столбцами которой будут выступать значения переменных, можно сформировать таким образом, чтобы строки под заголовками столбцов представляли собой случайный набор данных, полученных с помощью генератора псевдослучайных чисел. Созданная таким образом база данных представляет собой массив независимых переменных, определяющий текущие условия функционирования комплекса. Теперь в соответствии с условиями каждой строки, синхронно, мы можем зафиксировать реакцию системы (качество продукции, загрязнение окружающей среды).

Идея сценария добычи данных состоит в том, чтобы, посмотреть, как среагирует производственная система на одновременные изменения всех текущих условий функционирования комплекса.

Проблема состоит в том, чтобы на основе фрагментированных, «сырых» данных выявить новые, скрытые закономерности поведения системного объекта.

Методологией системного анализа предусматривается использование деревьев решений для классификации регламентированных, управляющих, возмущающих и рыночных воздействий на качество и себестоимость продукции.

На рисунке 1 показано диалоговое окно приложения JMPv8 с перечнем классифицируемых признаков, а в качестве корня дерева выбрана прочность продукции.



**Рисунок - Классифицируемые признаки**

Для селекции признака, по которому пойдет разбиение, мы выбрали теоретико-информационный критерий Р. Куинлена:

$$T(j) = H(X^*) - \sum_{k=1}^p \frac{|X_k^*|}{|X^*|} \cdot H(X_k^*) \Rightarrow \max$$

$$\forall j = 1, 2, \dots, m$$

где  $H(X^*)$  и  $H(X_k^*)$  – энтропия подмножеств, разбитых на классы, рассчитанная по формуле Шеннона.

На рисунках 2-3 приведены деревья классификации прочности и пластичности, показывающие иерархию взаимоотношений между признаками. Применяя метод отсечения менее значимых ветвей, можно выявить самые главные зависимости исследуемых параметров производственных процессов.

Идея нейронных сетей возникла в результате попыток смоделировать деятельность человеческого мозга. Мозг воспринимает воздействия, поступающие из внешней среды, и, используя память, обучается на собственном опыте.

Обучение многослойного персептрона произведено с помощью алгоритма обратного распространения, являющегося модификацией градиентного спуска.

В алгоритме обратного распространения вычисляется вектор градиента поверхности ошибок. Этот вектор указывает направление кратчайшего спуска по поверхности из данной точки.

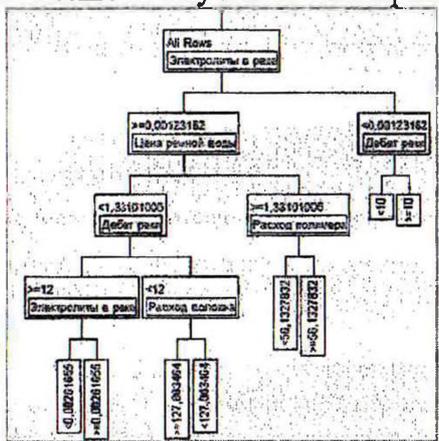


Рисунок 2 - Дерево прочности

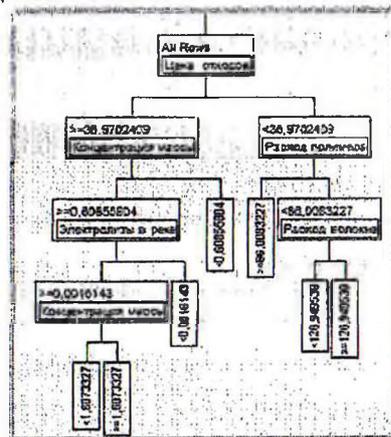


Рисунок 3 - Дерево пластичности

Метод Ньютона - Гаусса строится на предположении о том, что  $\|J^T(\vec{x})/J(\vec{x})\| \gg \|Q(\vec{x})\|$ , то есть слагаемое  $J^T(\vec{x})/J(\vec{x})$  доминирует над  $Q(\vec{x})$ . Также такое приближение возможно при условии, что  $\|Q(\vec{x})\|$  близко к 0. Это требование не соблюдается, если минимальные невязки велики, то есть если норма  $\|F(\vec{x})\|$  сравнима с максимальным собственным значением матрицы  $J^T(\vec{x})/J(\vec{x})$ . В противном случае

пренебрегаем  $Q(\vec{x})$  и получаем итерационную процедуру с формулой для обновления  $\vec{x}_{j+1}$ :

$$\vec{x}_{j+1} = \vec{x}_j - (J^T(\vec{x}_j)J(\vec{x}_j))^{-1} J^T(\vec{x}_j)F(\vec{x}_j) \quad (1)$$

где  $J(\vec{x})$  - матрица Якоби для функции  $F(\vec{x})$

$$J(\vec{x}) = \left[ \frac{\partial g_i(\vec{x})}{\partial x_j} \right]_{i=1, j=1}^{n, m} \quad (2)$$

В стандартном итерационном методе Ньютона на каждой итерации требуется вычисление и обращение матрицы Гесса, что зачастую является достаточно сложным процессом. В методе Ньютона-Гаусса подобная необходимость отпадает, причем скорость сходимости также может достигать квадратичной, хотя вторые производные и не учитываются.

Архитектура сети представлена на рисунке 4.

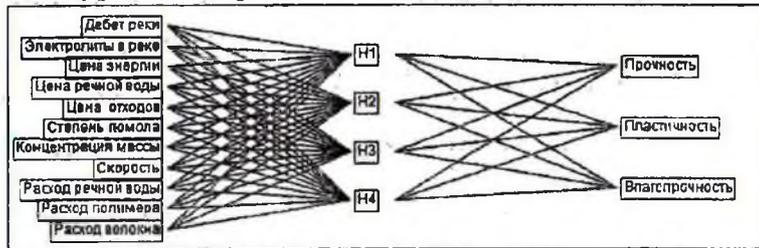


Рисунок 4 - Нейронная сеть

Слева располагаются параметры, характеризующие внешнее окружение системы, справа помещены зависимые переменные, значения которых получены с помощью модели производственного комплекса по условиям каждой строки левых переменных.

Ценность информации, выведенной на рисунках 5-6, заключается в том, что они позволяют анализировать зависимости прочности и пластичности одновременно по всем исследуемым признакам, устанавливая наименование осей и перемещая слайтеры соответствующих независимых переменных.



Рисунок 5 - Графики прочности



**Рисунок 6 - Графики пластичности**

Таким образом, совершенно определенно мы можем утверждать, что за прочность, в основном, отвечает расход полимера, а за пластичность – расход волокна. Одновременно убеждаемся в важной роли содержания электролитов в речной воде.

Отсюда можно выявить слабые места технологии, необходимые объемы инвестиций и составить график выполнения программы модернизации.