



*А.Д. Глазов, И.А. Кручинин, А.Д. Семенов*  
*Пензенский государственный технологический университет*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ПЛАНКИ НАПОРНОГО УСТРОЙСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

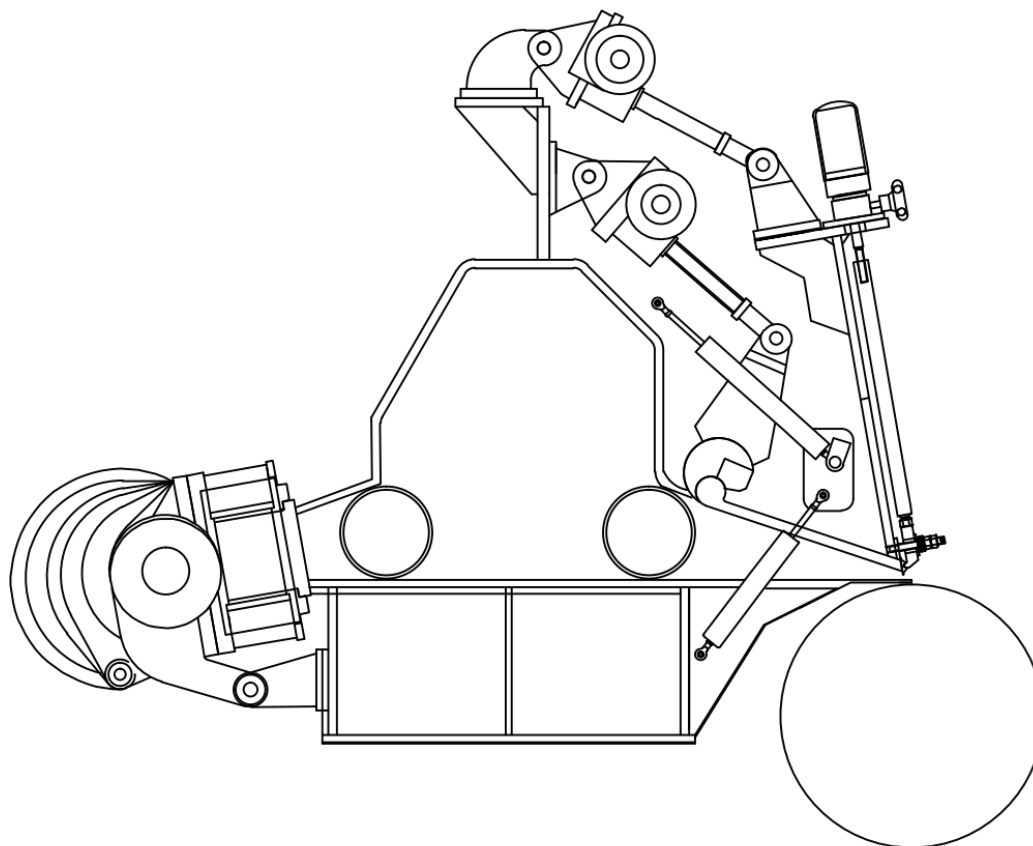
В статье представлена возможность практической реализации алгоритма управления положением верхней губы напорного ящика бумагоделательной машины с использованием нейронных сетей. Также представлены результаты обучения нейронной сети по алгоритму Левенберга-Марквардта. В том числе изображена структура нейронной сети, а также показания датчиков при различных положениях верхней планки напорного устройства.

Нейронная сеть, аппроксимация, среднеквадратичная ошибка, напорный ящик.

В бумажной промышленности необходимо с большой точностью определять положение выпускной щели напорного ящика бумагоделательной машины. Посредством регулирования последней достигается необходимый технологический режим, от которого зависит выпуск бумажной массы на сетку и свойства бумаги. Выпускная щель чаще всего состоит из двух линеек, одна из которых неподвижна, а вторая регулируется относительно первой. Верхняя линейка называется верхней губой,

нижняя линейка – нижней губой напорного ящика. Положение верхней губы определяется двумя координатами по оси абсцисс и оси ординат относительно нижней губы. Для обеспечения заданного технологического режима необходимо точно знать данные координаты.

Конструкция напорного ящика закрытого типа *Papcell a.s. 784 10 Litovel* представлена на рисунке 1, а кинематическая схема привода управления верхней губой – на рисунке 2.



*Рис. 1. Конструкция напорного ящика*

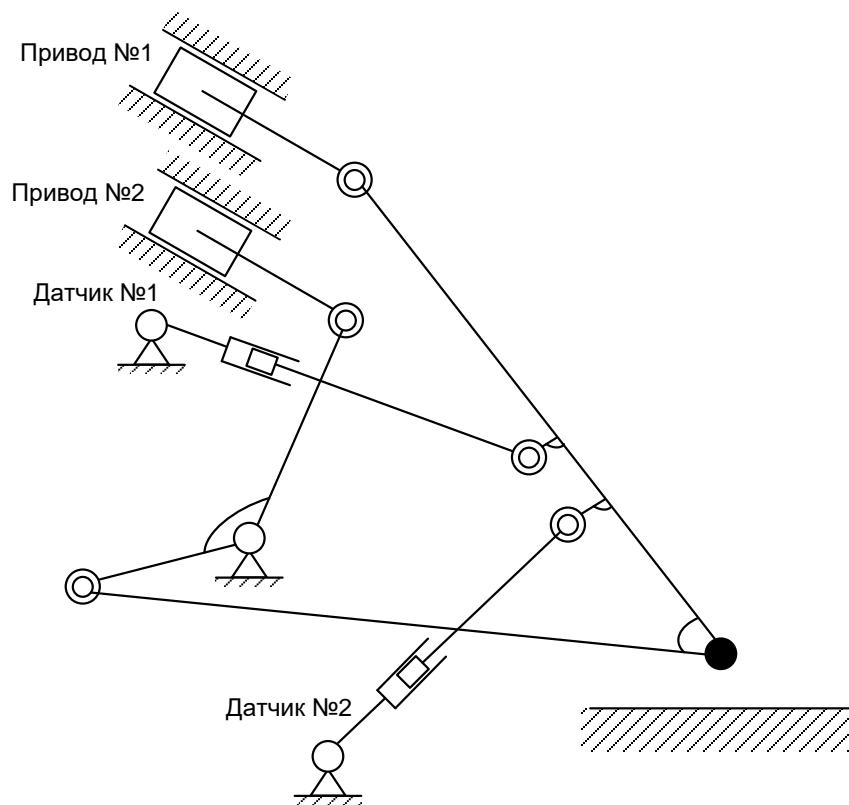


Рис. 2. Кинематическая схема привода

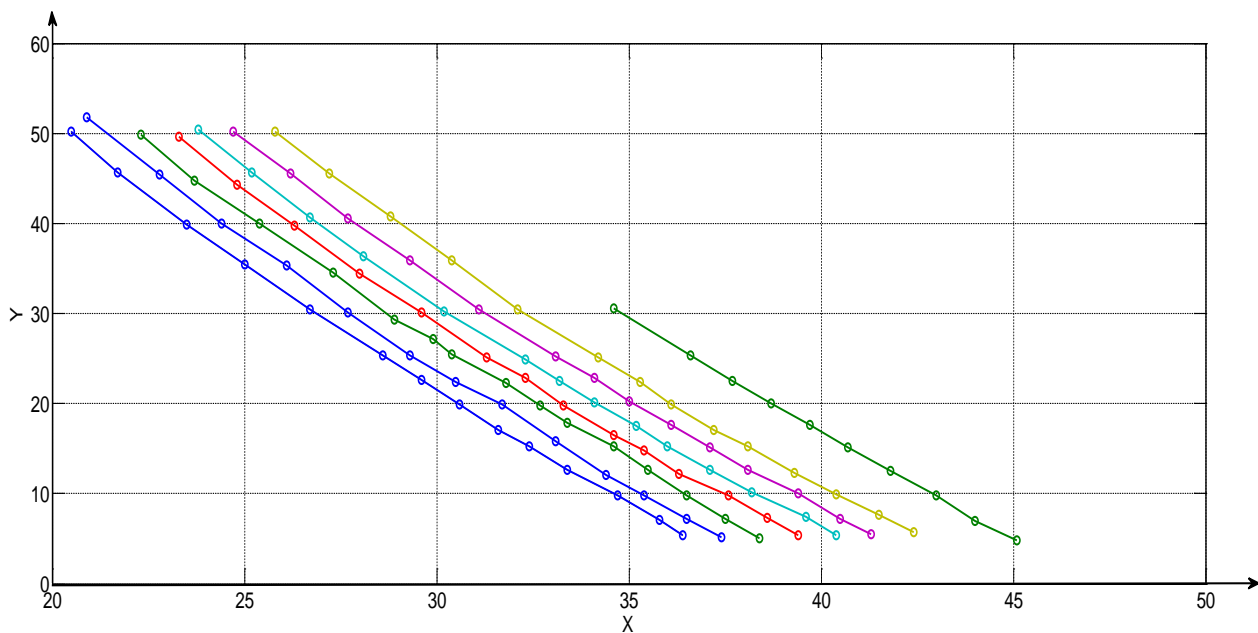


Рис. 3. Траектория перемещения верхней губы

Из кинематической схемы привода следует, что положение губы при включении одного из приводов меняется по окружности, причем имеет место несоответствие положения губы показаниям датчиков.

Для обеспечения заданного технологического режима необходимо по показаниям датчиков точно определить положение верхней губы в неподвижной системе координат, связанной с нижней губой.

Решение этой задачи осуществлялось путем аппроксимации экспериментально снятой зависимости положения верхней губы от показаний двух датчиков

установленных на ней. Сравнивались два вида аппроксимации – аппроксимация полиномами второго порядка

$$a_1L1^2 + a_2L2^2 + a_3L1L2 + a_4L1 + a_5L2 + a_6 = X$$

$$b_1L1^2 + b_2L2^2 + b_3L1L2 + b_4L1 + b_5L2 + b_6 = Y$$

и аппроксимация на основе нейронных сетей.

В ходе проведения эксперимента были сняты 108 показаний датчиков при различных положениях верхней планки напорного устройства. Траектория перемещения губы совпадает с предполагаемой и представлена на рисунке 3.

В результате аппроксимации получим коэффициенты полиномов, представленные в таблице 1.

Таблица 1

**Коэффициенты полиномов**

$a_i$	$b_i$
$a_1 = -1.2615 \cdot 10^{-9};$	$b_1 = 1.5665 \cdot 10^{-9};$
$a_2 = 4.5366 \cdot 10^{-9};$	$b_2 = 8.3865 \cdot 10^{-9};$
$a_3 = 1.8428 \cdot 10^{-9};$	$b_3 = 2.5653 \cdot 10^{-9};$
$a_4 = 4.1985 \cdot 10^{-4};$	$b_4 = -1.4487 \cdot 10^{-4};$
$a_5 = 6.3564 \cdot 10^{-4};$	$b_5 = -2.4605 \cdot 10^{-3};$
$a_6 = 1.5703 \cdot 10^1;$	$b_6 = 6.3900 \cdot 10^1;$

Ошибка в расхождении экспериментальных данных и данных, полученных в результате аппроксимации представлена на рисунке 4.

Среднеквадратичное значение ошибок аппроксимации равно:

$$E_{xcp} = 0.1146, E_{ycp} = 0.1361.$$

Аппроксимация с помощью нейронных сетей проводилась с помощью двухслойной статической нейронной сети с линейной функцией активации в выходном слое и тангенциальной функцией во входном слое. В результате проверки обученной нейронной сети на контрольном множестве было выбрано оптимальное число нейронов сети. Для входного слоя оно равно четырем, для выходного слоя количество нейронов равно двум. Структура нейронной сети изображена на рисунке 5.

В качестве метода обучения был выбран алгоритм Левенберга-Марквардта. Данный алгоритм обладает быстрой сходимостью при высокой точности обучения.

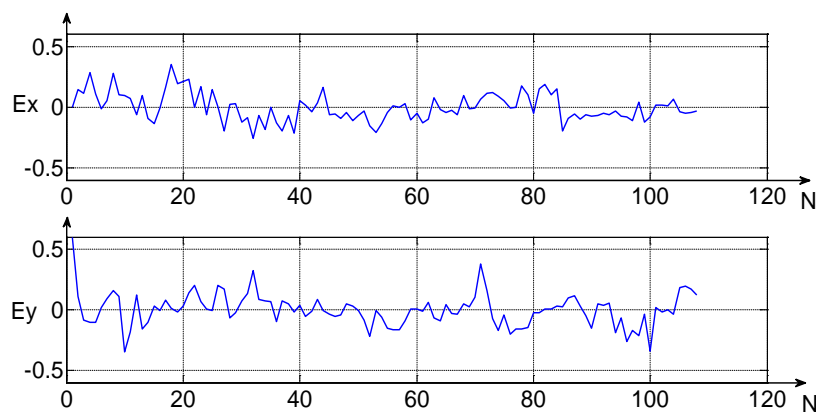


Рис. 4. Ошибка аппроксимации

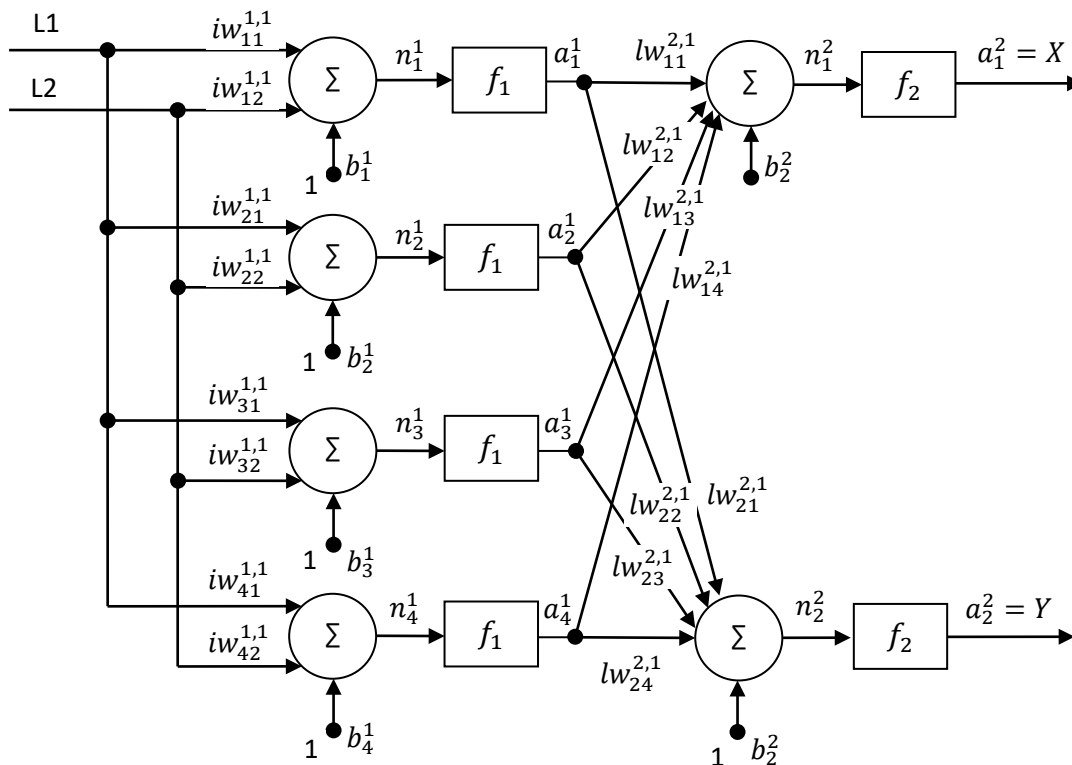


Рис. 5. Структура нейронной сети

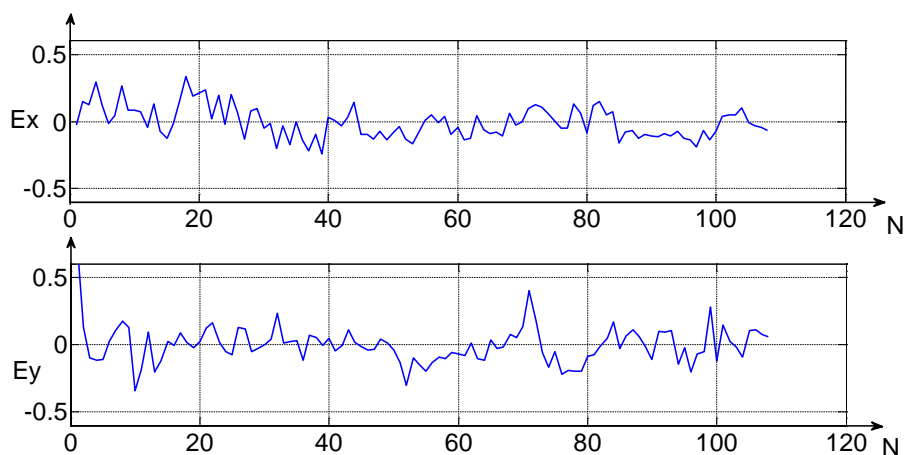


Рис. 6. Ошибка аппроксимации

Нейронная сеть прошла обучение за первые десять циклов. В результате обучения получены параметры весов и смещений, представленные в таблице 2.

Таблица 2

**Значения весов**

Входной слой		Выходной слой	
$iw_{11}^{1,1}$	1.6754	$lw_{11}^{2,1}$	-0.2529
$iw_{12}^{1,1}$	2.2435	$lw_{12}^{2,1}$	0.2802
$iw_{21}^{1,1}$	1.9780	$lw_{13}^{2,1}$	-0.9099
$iw_{22}^{1,1}$	-1.9818	$lw_{14}^{2,1}$	-0.3051
$iw_{31}^{1,1}$	0.4620	$lw_{21}^{2,1}$	-0.8250
$iw_{32}^{1,1}$	2.7616	$lw_{22}^{2,1}$	-0.6388
$iw_{41}^{1,1}$	-2.1284	$lw_{23}^{2,1}$	0.4463
$iw_{42}^{1,1}$	-1.8194	$lw_{24}^{2,1}$	0.3212
$iw_1^1$	-2.8000	$lw_1^2$	-0.2323
$iw_2^1$	-0.9333	$lw_2^2$	0.2547
$iw_3^1$	0.9333		
$iw_4^1$	-2.8000		

Ошибка в расхождении экспериментальных данных и полученных в результате аппроксимации представлена на рисунке 6.

Среднеквадратичная ошибка вычислений близка к ошибке полиномиальной аппроксимации.

$$E_{xcp} = 0.1200, E_{yucp} = 0.1374$$

При практической реализации алгоритма управления положением верхней губы предпочтение было отдано аппроксимации с использованием нейронных сетей как имеющих преимущество при аппроксимации траекторий движения более сложных кинематических схем.

*D.A. Glazov, I.A. Kruchinin, A.D. Semenov*  
*Penza State Technological University*

**DETERMINING THE POSITION OF THE PRESSURE DEVICE UPPER BAR USING NEURAL NETWORKS**

The article presents the possibility of practical implementation of an algorithm for controlling the position of the upper lip of paper-making machine head box using neural networks. The results of training a neural network using the Levenberg-Marquardt algorithm are also presented. The structure of the neural network as well as sensor readings at various positions of the upper bar of the pressure device are also shown.

Neural network, approximation, standard error, head box.