

Тархов Д.А., Шемякина Т.А., Беляева А.Р. Нейросетевая модель восстановления начального профиля ударной волны. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XIV Междунар. научно-техн. конф. – Пенза: ПДЗ, 2014. – С. 175-178.

УДК 681.322

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАЧАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Д.А. Тархов, Т.А. Шемякина, А.Р. Беляева

RESTORATION OF THE INITIAL PROFILE OF THE SHOCK WAVE ON DIFFERENTIAL EQUATIONS AND EXPERIMENTAL DATA

D.A. Tarkhov, T.A. Shemyakina, A.R. Belyaeva

Аннотация. Нейросетевые методы решения обратных задач математической физики применяются к определению начального профиля распределения давления в трубе, в которой распространяется ударная волна, по результатам измерений на датчике давления, расположенном в конце трубы.

Ключевые слова: нейронные сети, ударная волна, система дифференциальных уравнений, обратная задача.

Abstract. Neural network methods for solving inverse problems of mathematical physics applied to the determination of the initial profile of the pressure distribution in the tube, in which the shock wave is propagated, measured by the pressure sensor, which is located at the end of the pipe.

Keywords: neural networks, shock wave, system of differential equations, the inverse problem.

Образование поверхностей разрыва непрерывности переменных течений, называемых скачками уплотнения или ударными волнами имеет практическое приложение в современных инженерных задачах и интересно для моделирования и исследования подобных явлений. В данной работе рассматривается возможность применения нейросетевого моделирования для уточнения процессов возникновения и распространения ударной волны, используя систему дифференциальных уравнений и экспериментальные данные. Объектом исследования является первичная падающая ударная волна в атмосферной ударной трубе.

Прямой скачок уплотнения – первичная ударная волна генерируется в установке кратковременного действия – атмосферной ударной трубе. До начала процесса труба разделена диафрагмой на части с высоким и низким давлением. Ударная волна возникает в момент разрушения диафрагмы. Датчики регистрируют давление до и после разрушения диафрагмы. В результате исследований выяснилось, что давление слева и справа от диафрагмы в начальный момент непостоянно (существует протечка). Для восстановления начального профиля давления построена нейросетевая модель, в которой используются данные с датчиков давления. Выход нейросетевой модели в начальный момент времени и даёт начальное распределение. Процесс распространения ударной волны описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + c \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + c \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \end{cases}$$

где неизвестные функции u, v – безразмерные величины скорости ударной волны и давления.

Решение будем строить методами [1–5] в следующем виде:

$$u(x, t) = \sum_{i=1}^n a_i U(x, t, \vec{\alpha}_i), \quad v(x, t) = \sum_{i=1}^n b_i V(x, t, \vec{\beta}_i).$$

Подбор весов осуществлялся через минимизацию функционала ошибки, который в данной задаче имеет вид:

$$J = J_1 + \delta J_2;$$

J_1 – слагаемое, отвечающее системе уравнений;

J_2 – слагаемое, отвечающее начальным условиям и измерениям;

$\delta > 0$ – «штрафной» множитель.

С помощью установки были сняты данные счетчиков при различных давлениях в КНД – камере низкого давления (30, 60, 90 и 120 мм.рт.ст.). При проведении эксперимента после обработки результатов были рассчитаны некоторые величины (например, скорость ударной волны, число Маха, давление, которое установилось после прохождения ударной волны по КНД и т.д.).

Результаты вычислений показали возможность восстановления начального распределения давления вдоль трубы по измерениям зависимости давления от времени на датчике. В ходе изучения полученных результатов было выявлено, что с увеличением давления в КНД скачок давлений получается более резким.

Решение обратной задачи можно уточнить с помощью гибридного метода, сочетающего решение прямой задачи стандартными численными методами с решением обратной задачи с помощью нейронных сетей.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант №14-01-00660).

Библиографический список

1. Беляева А.Р., Мишина А.С., Тархов Д.А., Шемякина Т.А. Построение нейросетевой модели ударной волны по дифференциальным уравнениям и экспериментальным данным // Материалы X Междунар. конф. по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ' 2014). Алушта. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014. – С. 460–461.
2. Васильев А.Н., Тархов Д.А. Построение приближённых нейросетевых моделей по разнородным данным // Математическое моделирование. – 2007. – Том 19, №12. – С. 43–51.
3. Горбаченко В.И., Артюхина Е.В. Обучение радиально-базисных нейронных сетей при решении дифференциальных уравнений в частных производных // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2007. – № 9. – С. 150–159.
4. Kainov N.U., Tarkhov D.A., Shemyakina T.A. Application of neural network modeling to identification and prediction in ecology data analysis for metallurgy and welding industry // Nonlinear Phenomena in Complex Systems, vol. 17, no. 1 (2014). – P. 57 – 63.

5. Тархов Д.А. Нейросетевые модели и алгоритмы. – М.: Радиотехника, 2014. – 348 с.

Тархов Дмитрий Альбертович
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский
государственный политехнический
университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: dtarkhov@gmail.com

Tarkhov Dmitry Albertovich
Federal State Autonomous
educational institution of higher
education «St. Petersburg State
Polytechnical University»,
Saint Petersburg, Russia

Шемякина Татьяна Алексеевна
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский
государственный политехнический
университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: sh_tat@mail.ru

Shemyakina Tatiana Alekseevna
Federal State Autonomous
educational institution of higher
education «St. Petersburg State
Polytechnical University»,
Saint Petersburg, Russia

Беляева Александра Романовна
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский
государственный политехнический
университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: lex.belyaewa2012@gmail.com

Beliaeva Aleksandra Romanovna
Federal State Autonomous
educational institution of higher
education «St. Petersburg State
Polytechnical University»,
Saint Petersburg, Russia