

УДК 621.317.75-021.131:004.85

**ВИРТУАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ПОДСКАЗЧИКОМ:
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ В
ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ**

А.М. ПЕРХОВА, В.И. ЧИГИЛИНСКИЙ

*Военная академия Республики Беларусь
(г. Минск, Беларусь)*

E-mail: perhovastasiana@gmail.ru, VadimChigilinskiy@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается проблема качества усвоения фундаментальных дисциплин в современном инженерном образовании, связанная с неэффективным использованием лабораторного оборудования и программного обеспечения при изучении цифровой обработки сигналов.

Abstract. The paper addresses the issue of quality of assimilation of fundamental disciplines in modern engineering education, which is associated with the inefficient use of laboratory equipment and software in the study of digital signal processing.

Современное инженерное образование переживает противоречивый период своего развития, когда оснащенность учебных лабораторий новейшим оборудованием и программным обеспечением парадоксальным образом не приводит к пропорциональному росту качества усвоения фундаментальных дисциплин. Особенно остро это противоречие проявляется в дисциплинах, связанных с цифровой обработкой сигналов, где студент оказывается зажатым между двумя одинаково неэффективными крайностями. С одной стороны, работа с реальным физическим осциллографом дает бесценный тактильный опыт взаимодействия с измерительным прибором, но принципиально ограничена визуализацией лишь временного представления сигнала – понять, что происходит в частотной области, глядя на пульсирующую зеленую линию на экране электронно-лучевой трубки, начинающий инженер не может без хорошо развитой математической интуиции. С другой стороны, мощные программные пакеты вроде MATLAB или LabVIEW, предоставляя широчайший инструментальный анализ, обрушивают на неподготовленного пользователя лавину возможностей, настроек и терминов, превращая учебную задачу в механическое перебирание пунктов меню в поисках команды, дающей визуально похожий на ожидание график. В обоих случаях отсутствует самое важное звено педагогического процесса – своевременная, контекстная и, что принципиально, объяснимая обратная связь, которая не просто констатирует ошибку, а вскрывает ее причину, локализованную в конкретном фрагменте математических преобразований, неверно понятых или неверно примененных обучающимся.

Именно на устранение этого разрыва направлен предлагаемый образовательный модуль – виртуальный осциллограф с интеллектуальным подсказчиком, реализующий в своей архитектуре тесную интеграцию классических алгоритмов цифровой обработки сигналов и легковесных моделей машинного обучения, спроектированных в парадигме объяснимого искусственного интеллекта. Внешне модуль представляет собой привычный интерфейс измерительного прибора с экраном, ручками усиления и развертки, набором режимов синхронизации и математических операций, однако его внутреннее устройство принципиально отличается от традиционных симуляторов наличием фонованого аналитического слоя, непрерывно сопоставляющего действия обучающегося с эталонной траекторией решения учебной задачи. Ключевая концепция, заложенная в основу разработки, заключается в отказе от идеи «умной подсказки», выдающей готовый ответ по нажатию кнопки. Вместо этого система выдерживает педагогически обоснованную паузу, позволяя курсанту самостоятельно совершить ошибку, зафиксировать ее, испытать продуктивное замешательство, и лишь затем предъясвляет не вердикт, а детализированное объяснение, подсвечивающее конкретный этап обработки, на котором было принято неверное решение.

Техническим фундаментом аналитического слоя выступает одномерная сверточная нейронная сеть, обученная на обширном синтетическом датасете частотных искажений. Датасет формируется программно: чистый тестовый сигнал пропускается через цепочку цифровых фильтров с заведомо неверно заданными параметрами, имитируя типовые студенческие ошибки – эффект наложения спектров из-за неверно

выбранной частоты дискретизации, звон на фронтах импульсной характеристики при чрезмерно крутом срезе КИХ-фильтра, просачивание боковых лепестков при неудачном выборе оконной функции. Каждый сгенерированный образец получает метку не просто «искажен», а конкретный тип искажения с указанием причинного параметра, что позволяет обучить классификатор различать тонкие спектральные особенности, недоступные глазу начинающего инженера. Обученная модель выполняет не роль вычислителя — все расчеты по-прежнему производит сигнальный процессор симулятора, реализующий классическое быстрое преобразование Фурье и алгоритмы фильтрации, — а роль эксперта-диагноста, способного по спектрограмме определить, что обучающийся перепутал полосу пропускания с полосой заграждения или применил фильтр Баттерворта там, где требовался фильтр Чебышева.

Итогом взаимодействия курсанта с модулем является этап визуализации карт внимания модели, формируемых алгоритмом Grad-CAM поверх спектрограммы анализируемого сигнала. На этом этапе цветовая маска накладывается непосредственно на частотно-временное представление, выделяя именно те области, которые внесли наибольший вклад в заключение классификатора о наличии искажения. Обучающийся видит не абстрактное сообщение «фильтр настроен неверно», а конкретную зону на спектрограмме, где, например, наблюдается аномально высокая энергия в полосе заграждения, и оказывается поставлен перед необходимостью самостоятельно связать эту визуальную аномалию с математическим выражением передаточной функции, которую он только что задал в параметрах фильтра. Именно в этом соединении наглядного образа с абстрактной формулой и кроется педагогическая ценность подхода: машинное обучение не заменяет мыслительную деятельность курсанта, а направляет ее, выхватывая из потока данных те фрагменты, которые заслуживают пристального внимания.

Важно подчеркнуть, что предлагаемый модуль проектировался не как замена физическому практикуму, а как его органичное дополнение, встраиваемое в структуру традиционного лабораторного занятия. На первом этапе курсант работает с реальным генератором и осциллографом, снимая амплитудно-частотную характеристику настоящего фильтра и наблюдая физический сигнал. Затем он переходит к виртуальному двойнику этого же эксперимента, где система может многократно воспроизвести сценарий с варьируемыми параметрами, предложить зашумленную версию сигнала и, что наиболее ценно, предоставить индивидуализированную обратную связь в темпе, комфортном для конкретного обучаемого, а не усредненном по группе. Преподаватель, в свою очередь, получает агрегированный отчет по учебному взводу или потоку, в котором отражены не итоговые оценки, а распределение типовых ошибок, позволяющее оперативно скорректировать содержание следующей лекции, сделав акцент именно на тех разделах, которые вызвали наибольшие затруднения.

Заключение

Таким образом, предлагаемый модуль демонстрирует жизнеспособный подход к внедрению методов машинного обучения в фундаментальное инженерное образование, при котором искусственный интеллект выступает не объектом изучения и не заменой преподавателя, а технологическим посредником между курсантом и абстрактным математическим знанием, переводящим невидимые спектральные аномалии на язык наглядных визуальных образов и создающим ту самую своевременную и адресную обратную связь, дефицит которой сегодня является одним из главных ограничений традиционных образовательных форматов.

Список использованных источников

1. *Selvaraju R.R., Cogswell M. Das A. et al. Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). — 2017.*
2. *Pe S., Buonocore T.M., Nicora G. Parimbelli E. SignalGrad-CAM: Generalizing Grad-CAM to 1D Signal Applications // SoftwareX. — 2025.*
3. *Гуань Ч., Син Ф., Фан В., Цун Ю. Применение Matlab и LabVIEW в курсе цифровой обработки сигналов // Китайский журнал современных образовательных технологий и оборудования. — 2012. — № 15.*
4. *Zeiler M.D., Fergus R. Visualizing and Understanding Convolutional Networks // European Conference on Computer Vision (ECCV). — 2014.*
5. *Oppenheim A.V., Schaffer R.W. Discrete-Time Signal Processing. — 3rd ed. — Pearson, 2009.*