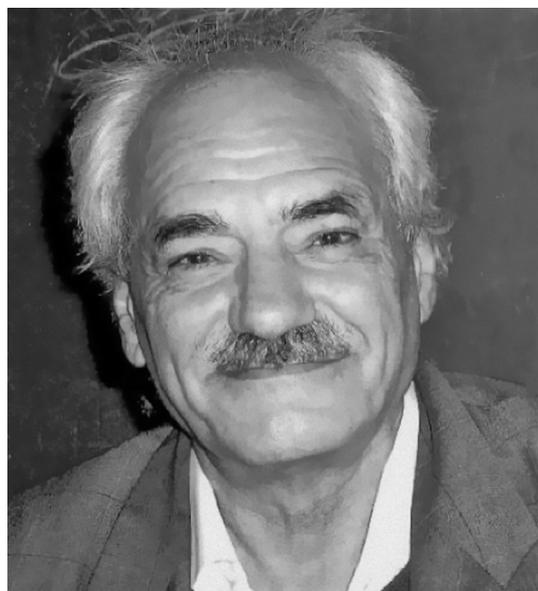


СИМПОЗИУМ «МЕРЫ СЛОЖНОСТИ», ПОСВЯЩЕННЫЙ 75-ЛЕТИЮ А.Я. ЧЕРВОНЕНКИСА



В городе Пафос на Кипре 2 октября 2013 г. состоялся международный симпозиум «Меры сложности», посвященный 75-летию Алексея Яковлевича Червоненкиса. В его программе были представлены доклады, посвященные истории и современному состоянию проблемы машинного обучения и распознавания образов. Она содержала доклады Р. Дадли (США), А. Гаммермана и В. Вовка (Великобритания), Б. Шелькопфа (Германия), Л. Ботту (США) и К. Воронцова (Россия). В работе Симпозиума в режиме телеконференции принял участие многолетний коллега юбиляра В.Н. Вапник (США). С сообщением на тему «Меры сложности» выступил сам А.Я. Червоненкис. В прочитанных на Симпозиуме докладах подчеркнута важная роль, которую методы машинного обучения, разработанные А.Я. Червоненкисом вместе с В.Н. Вапником, сыграли в теории распознавания образов и машинного обучения.

В своем докладе «От классов событий к классам функций» Р. Дадли отметил, что существуют возможные расширения действия закона больших чисел на семейства функций и что исследования В. Вапника и А. Червоненкиса открыли возможности расширения действия центральной предельной теоремы на новые области. Он отметил многочис-

ленные применения такого расширения в статистике вообще, а не только в исходно поставленной задаче машинного обучения. По его словам, «после некоторых предшественников XIX в., утверждение о виде сложности класса множеств, сделанное А. Червоненкисом и В. Вапником в 1968 г., значительно расширило сферу действия законов больших чисел в теории вероятностей¹».

В своем выступлении А. Гаммерман изложил основные факты научной биографии юбиляра. После окончания в 1961 г. Московского физико-технического института А.Я. Червоненкис участвовал в создании светомузыкальной установки, которая в 1961 г. демонстрировалась в Лондоне. Увлечшись задачей распознавания образов, он быстро продвинулся в ней и скоро стал авторитетом в этой области. В 1971 г. А.Я. Червоненкис защитил кандидатскую диссертацию, а с 1987 по 2005 г. по совместительству выполнял обязанности научного консультанта фирмы «Интегра», создавая компьютерные программы для управления разработкой месторождений золота и других драгоценных металлов. За эти работы А.Я. Червоненкис удостоен Государственной премии СССР. В 2000—2009 гг. он был профессором Центра компьютерного обучения Королевского университета в Лондоне и ему присвоено звание Почетного профессора Лондонского университета. С 2007 г. по настоящее время А.Я. Червоненкис, будучи старшим научным сотрудником Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, по совместительству работает консультантом фирмы «Яндекс» в России.

В своем выступлении В. Вовк рассказал об истории развития работ по распознаванию образов в Институте проблем управления. В частности, он отметил роль М.А. Айзермана и М.А. Бравермана. После опубликования монографии «Теория распознавания образов» (1974) А.Я. Червоненкис и В.Н. Вапник стали признанными авторитетами в теории распознавания образов и компьютерного обучения. Среди наиболее значимых результатов

¹ Artificial intelligence applications and innovations / Н. Papadopoulos, A.S. Andreou, L. Iliadis, I. Maglogiannis (Eds.). — Heidelberg, New-York, Dordrecht, London: Springer, 2013. — P. XIX.



А.Я. Червоненкиса находится разработанный им вместе с В.Н. Вапником алгоритм распознавания образов, известный как «метод обобщенного портрета»². Развитие принципов и алгоритмов оптимального выбора сложности в задаче распознавания образов на основе доступных экспериментальных данных и сложности класса решающих правил стало основой многих алгоритмов машинного обучения. А.Я. Червоненкису принадлежит вывод необходимых и достаточных условий равномерной сходимости средних значений к математическому ожиданию, а также изучение характеристики класса множеств, вошедшей в современную математику как функция Вапника—Червоненкиса (размерность Вапника—Червоненкиса, VC-dimension).

В докладе *Б. Шельконфа* «Причинные связи и статистическое обучение» поставлена общая проблема изучения причинных связей на основе их статистических «отпечатков». Автор рассмотрел задачи применения причинных структур в сценариях машинного обучения, таких как ковариационный сдвиг или обучение с частичным привлечением учителя.

Свой доклад «О возникновении леммы Вапника — Червоненкиса» *Л. Ботту* посвятил истории разработки теории распознавания образов. Он отметил, что переход от простого закона больших чисел к равномерному закону больших чисел основывается на важной комбинаторной лемме, доказательство которой появилось в нескольких странах почти одновременно. Он привел данные по анализу этого перехода, который он назвал потрясающим, «earth shattering result».

В докладе *К. Воронцова* «Комбинаторная теория оверфиттинга: как связность и расщепленность уменьшают локальную сложность» рассмотрен новый подход, позволяющий получить границы вероятности оверфиттинга, зависящие от исходных данных. Этот подход требует представления поискового пространства в виде направленных ациклических графов, обычно весьма большого размера. В отличие от методов бустинга, баггинга или метода случайных деревьев, изучающих большие ансамбли слабых классификаторов, в докладе рассматриваются малые ансамбли сильных классификаторов.

С докладом на тему «Меры сложности» выступил *А.Я. Червоненкис*. По его словам, чем сложнее восстанавливаемая зависимость, тем больше должен быть размер обучающего множества для ее

построения. Вероятно, первым теоретическим результатом в этой области была теорема Котельникова (критерий Найквиста). Теорема утверждает, что для восстановления непрерывной функции на основании некоторого числа измерений в дискретных точках необходимо количество измерений, пропорциональное ширине ее спектра. Таким образом, сама ширина спектра может служить одной из возможных мер сложности. В общем случае исследователь должен ограничить себя определенным уровнем сложности модели, который зависит от объема данных, что приводит к необходимости определения понятия сложности и к поиску способов ее количественной оценки.

Совместно с В.Н. Вапником А.Я. Червоненкис свел анализ способности системы к обучению к проблеме равномерной сходимости частот к вероятностям по классу событий (или равномерной сходимости средних к математическим ожиданиям по классу функций). Условия равномерной сходимости были сформулированы ими в терминах индекса класса событий относительно заданной выборки, функции роста и так называемой размерности Вапника—Червоненкиса. Если равномерная сходимость имеет место, то система способна обучаться. Однако обратное не верно: система может сохранить способность к обучению, даже если такая сходимость отсутствует. Можно указать примеры поиска решающего правила, зависящего от очень большого числа параметров, для нахождения которого, однако, достаточно лишь небольшого числа показов. Например, в методе бустинга используются очень громоздкие формулы, но, несмотря на это, метод дает неплохие результаты даже при ограниченном количестве данных для обучения.

Таким образом, в докладе показано, что размерность Вапника — Червоненкиса является одной из возможных мер сложности. Рассмотренные в докладе примеры заставляют исследователя искать и другие меры сложности, не связанные с понятием равномерной сходимости. Вероятно, такие меры будут зависеть от распределения вероятностей в пространстве входных переменных. Но этого избежать невозможно, заключает автор.

В.Н. Новосельцев

Василий Николаевич Новосельцев — д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎ (495) 334-88-91, ✉ novoselc@yandex.ru.

*Редколлегия и редакция поздравляют
Алексея Яковлевича с 75-летием и желают ему
доброе здоровья и дальнейших творческих успехов!*

² Метод обобщенного портрета послужил основой широко известного метода опорных векторов — Support Vector Machine, за разработку которого В.Н. Вапник в 2012 г. получил в США медаль им. Б. Франклина.