

Метод ПКП рекомендован для проведения в лабораторном практикуме по дисциплине «Строительные материалы» [3] и соответствует ГОСТу 8735-18, но не лишен недостатков. Если окраска исследуемого образца приближена к цвету эталонного раствора, то имеет место субъективный фактор, что не позволяет объективно оценить точный факт изменения окраски.

Определение методом спектрофотометрии исключает наличие субъективных ошибок, поскольку в его основе лежит измерение оптической плотности раствора при определенной длине волны, то есть используются физические характеристики раствора [1]. Однако у метода СФО также имеется недостаток – разные виды дубильных веществ имеют разные максимумы поглощения, возникает необходимость предварительного получения спектральных характеристик при использовании различных стандартных растворов. Но, поскольку максимумы поглощения находятся в довольно небольшом диапазоне длин волн, отвечающем фиолетовому участку спектра, на абсолютном суммарном содержании танинов такой небольшой разброс не сказывается [2].

Поэтому, по мнению автора, метод спектрофотометрии является более предпочтительным и может быть использован в качестве факультативного при определении наличия органических веществ в песке в специализированных лабораториях.

#### **Список цитированных источников.**

1. Ивкина, О.А. Количественное определение дубильных веществ в успокоительном сборе № 2 / Ивкина О.А., Коган Е.Г., Стрелычева К.А., Кисилёва А.Н. // Смоленский медицинский альманах. – 2016. – № 1. – с. 112–115.
2. Колтышева, О.Ю. Сравнение результатов спектрофотометрического и перманганатометрического определения содержания танинов в яблочном соке для производства сидра / Колтышева, О.Ю. Соколова С.А., Дьяконова О.В., Колобаева А.А., Котик О.А. // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3 (часть 2). – с. 250-253.
3. Строительные материалы. Лабораторный практикум : учеб.-метод. Пособие / Я. Н. Ковалев [ и др.] / под ред. д.т.н. Я. Н. Ковалева. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2013. – 633 с.

*Молош В.В., Желткович А.Е., Паршиц К., Совейко Н.Г., Томашев И.Г.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛНОСВЯЗНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В РАСЧЁТАХ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕЗУ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ПЛОСКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ**

**Введение.** Отсутствие адекватных и надежных эмпирических или аналитических моделей сопротивления срезу при продавливании, в последние десятилетия привлекло к решению данной задачи исследователей, занимающихся недетерминированными методами.

В течение последних десяти лет значительно возросло применение нейронных сетей и машинного обучения в прогнозировании сложных процессов и явлений.

В данной работе выполнена статистическая оценка достоверности значений сопротивления срезу при продавливании, полученных с помощью нейронной сети, рассматриваемой в качестве альтернативы существующим расчётным моделям, и моделей, принятых в нормативных документах. С этой целью была собрана база данных, включающая результаты экспериментальных исследований зарубежных и отечественных авторов.

### **Нейронная сеть**

Для моделирования сопротивления срезу при продавливании использовали нейронную сеть с полносвязной архитектурой прямого распространения, в которой каждый нейрон связан со всеми остальными нейронами, находящимися в соседних слоях, и в которой все связи направления строго от входных нейронов к выходным (рисунок 1) [1].

В нейронной сети несколько слоёв нейронов. На крайний левый (входной) слой приходит сигнал. Правее находятся скрытые слои, и самый правый слой нейронов – выходной слой.

В нашем случае каждый сигнал, приходящий на нейрон входного слоя, представлял собой величину варьируемого базового параметра, влияющего на сопротивление срезу при продавливании. В выходном слое был всего один нейрон, представляющий величину сопротивления срезу при продавливании в виде предельной перерезывающей силы, обозначенной  $V_{calc}$ .

### **Модели сопротивления срезу при продавливании, принятые в нормативных документах**

В работе были рассмотрены расчётные модели сопротивления срезу при продавливании, принятые в нормативных документах ТКП EN 1992-1-1-2009 [2], prEN 1992-1-1:2018 [3], *fib* MC 2010 [4], ACI 318R-02 [5].

### **База экспериментальных данных**

Оценивание результатов расчёта было выполнено опираясь на экспериментальные данные доступной базы, включающей результаты испытаний образцов-плит с разными геометрическими, физико-механическими характеристиками и значениями предельных перерезывающих сил. В оценивании использовались взятые из доступных литературных источников данные 265 экспериментальных образцов, испытанных зарубежными и отечественными авторами.

### **Оценка достоверности расчетной модели**

Качество расчётных моделей было проверено путём оценивания отношений экспериментальных и расчётных значений перерезывающих сил  $V_{calc} / V_{exp}$ : средним, максимальным, минимальным значениями и коэффициентом вариаций отношений. Об адекватности функциональной взаимосвязи между расчётными и экспериментальными перерезывающими силами также сделали вывод на основании величины коэффициентом корреляции  $r_{ik}$ , поправочного коэффициента  $b$  для среднего значения отношений  $V_{exp} / V_{calc}$  и коэффициента вариации  $V_{\delta}$  вектора ошибок  $\delta$ , рассчитанных в соответствии с положениями стандартной процедуры, изложенной в приложении Д к ТКП EN 1990 [6].

Наиболее точные значения сопротивлений срезу при продавливании были получены с применением нейронной сети, что отражено в таблице 2.

**Таблица 2 – Сравнительные статистические параметры отношений расчетных и экспериментальных значений перерезывающих сил  $V_{calc} / V_{exp}$**

Результаты	<i>Min</i>	Среднее	<i>Max</i>	$C_v$ , %	<i>b</i>	$V_\delta$ , %	$r_{ik}$
Нейросеть	0.521	1.007	1.484	12,1	1.004	12,5	0.995
ТКП EN 1992-1-1-2009 [2]	0.334	0.575	0.802	16,9	1.647	17,7	0.984
prEN 1992-1-1:2002 [3]	0.471	0.882	1.658	21,2	1.3	20,8	0.967
<i>fib</i> MC 2010 [4]	0.607	1.186	1.971	23,1	0.842	23	0.964
ACI 318R-02 [5]	0.336	0.663	1.091	23,2	1.517	23,2	0.963

*Min*, среднее, *max* – соответственно минимальное, среднее и максимальное значения отношений  $V_{calc} / V_{exp}$ ;  $C_v$  – коэффициент вариации отношений  $V_{calc} / V_{exp}$ ; *b* – поправочный коэффициент для среднего значения отношений  $V_{calc} / V_{exp}$ ;  $V_\delta$  – коэффициент вариации для вектора ошибок  $\delta$  отношений  $V_{calc} / V_{exp}$ ;  $r_{ik}$  – коэффициент корреляции экспериментальных  $V_{exp}$  и расчётных  $V_{calc}$  перерезывающих сил.

**Заключение.** Предсказанные с применением нейронной сети значения сопротивлений срезу при продавливании для рассмотренных в данной работе моделей имеют наилучшую корреляцию с экспериментальными значениями сопротивлений.

Любые расчётные модели сопротивления срезу при продавливании, полученные посредством аппроксимации экспериментальных значений сопротивления методом подгона, нельзя считать в полной мере адекватными, так как они не базируются на общих законах механики и являются весьма спорными, требуют высокой точности в проведении экспериментальных исследований и идентификации их результатов. Возможность оценить влияние всех параметров, влияющих на сопротивление, в полном объеме должна быть максимальной, что нельзя считать выполнимым в полной мере в настоящее время.

#### Список цитированных источников.

1. Университет искусственного интеллекта: Что такое нейронные сети, что они могут, и как написать нейронную сеть на Python?: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neural-university.ru/neural-networks-basics>. – Дата доступа: 10.09.2022.
2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий = Праектаванне жалезабетонных канструкцый. Частка 1-1. Агульныя правілы і правілы для будынкау : ТКП EN 1992-1-1-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : СЕН/ТС 250 «Еврокоды конструкций» : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 207 с.
3. Design of concrete structures – Part 1-1: General rules, rules for buildings, bridges and civil engineering structures : prEN 1992-1-1:2018 Eurocode 2. – Final draft of April 2018 by the Project Team SC2.T1 working on Phase 1 of the CEN/TC 250 work programme under Mandate M/515. – 293 p.
4. Fib Model Code for Concrete Structures 2010. – Lausanne: International Federation for Structural Concrete (fib), Switzerland, 2013. – 432 p.
5. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary : ACI 318R-02.
6. Основы проектирования строительных конструкций = Асновы праектавання будаўнічых канструкцый : ТКП EN 1990-2011. – Введ. 15.11.2012. – Минск : СЕН/ТС 250 «Конструкционные Еврокоды» : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 70 с.