

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК УПЛОТНЯЮЩИХ МАШИН

**Красников А. С.,**

*магистрант,*

**Мальчиков Е. В.,**

*студент,*

**Уханов А. А.,**

*студент,*

**Шаманин К. К.,**

*студент,*

**Краюшкин А. С.,**

*аспирант,*

**Попов Ю. Г.,**

*канд. техн. наук*

*Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль*

Рассмотрены подходы к статистическому анализу параметров вибрационных катков и вибрационных плит на основе машинного обучения. Получены обученные модели для определения ключевых характеристик уплотняющих машин, которые могут применяться на этапе обоснования параметров при проектировании новой техники.

**Ключевые слова:** вибрационный каток, вибрационная плита, машинное обучение, кулачковый каток, линейная регрессия, дерево решений, кластеризация.

## USING MACHINE LEARNING FOR STATISTICAL ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF COMPACTION MACHINES

Approaches to the statistical analysis of the parameters of vibratory rollers and vibratory plates based on machine learning are considered. Trained models have been obtained to determine the key characteristics of compacting machines, which can be used at the stage of justifying the parameters when designing new equipment.

**Keywords:** vibratory roller, vibratory plate, machine learning, padfoot roller, linear regression, decision tree, clustering.

Уплотнение дорожно-строительных материалов является сложным многофакторным процессом, эффективность которого зависит как от самих уплотняемых материалов, так и от характеристик используемой техники. При этом

сложность изучения физико-механических свойств дорожно-строительных материалов и процессов изменения их напряженно-деформированного состояния обуславливают и затруднения при обосновании технических характеристик уплотняющих машин на стадии проектирования [1]. Крупные мировые производители, такие как Dynapac, Bomag или Caterpillar, обладают собственными крупными научно-исследовательскими подразделениями, занимающимися в том числе определением наиболее рациональных характеристик и режимов работы машин [2]. Остальные производители проектируют новые модели своей техники по принципу подобию с лидерами рынка. Однако простое копирование характеристик зачастую невозможно или нецелесообразно. Например, когда требуется дополнить размерный ряд машин или спроектировать промежуточную модель. При наличии достаточно большой выборки характеристик катков можно использовать простой регрессионный анализ, увязывающий искомую характеристику с 1 или 2 исходными. Например, вес, приходящийся на вибровальцовый модуль для тандемных катков хорошо коррелирует с эксплуатационной массой [3], а вынуждающая сила — со статическим линейным давлением. Однако ряд характеристик получить не так просто, например параметры вибрации или геометрические размеры кулачковых вальцов.

Для решения этой задачи можно использовать средства машинного обучения, способные перерабатывать большие объемы данных, определять даже скрытые и неявные взаимосвязи между параметрами, а также применять самые сложные методы регрессионного анализа. В качестве примера рассмотрим задачу определения числа кулачков вибрационного катка на основе анализа характеристик выборки из 170 катков в системе Microsoft Machine Learning Studio.

Рабочее пространство проекта представлено на рисунке 1. Работа строится на основе использования блоков добавления и обработки информации, соединяющихся связями. Рассмотрим в общих чертах последовательность выполнения проекта. В блоке, обозначенном цифрой один, загружается таблица характеристик вибрационных катков производителей BOMAG, HAMM, Caterpillar, Volvo и др. В блоке 2 осуществляется кластеризация всех моделей на 5 типов. Среди вошедших в исходную выборку катков есть двухвальцовые, тандемные, маленькие, средние и тяжелые катки. Логично предположить, что принадлежность к тому или иному типу (кластеру) также должна учитываться при определении характеристик. Кластеризацией называется один из способов машинного обучения «без учителя». Это значит, что пользователь не указывает программе правильного решения задачи разделения на типы. Алгоритм самостоятельно на основе одних только параметров объектов относит их к тому или иному кластеру.

Пользователь определяет только итоговое число групп. При кластеризации объекты могут группироваться довольно неожиданным образом, что позволяет выявлять скрытые закономерности и связи между параметрами.

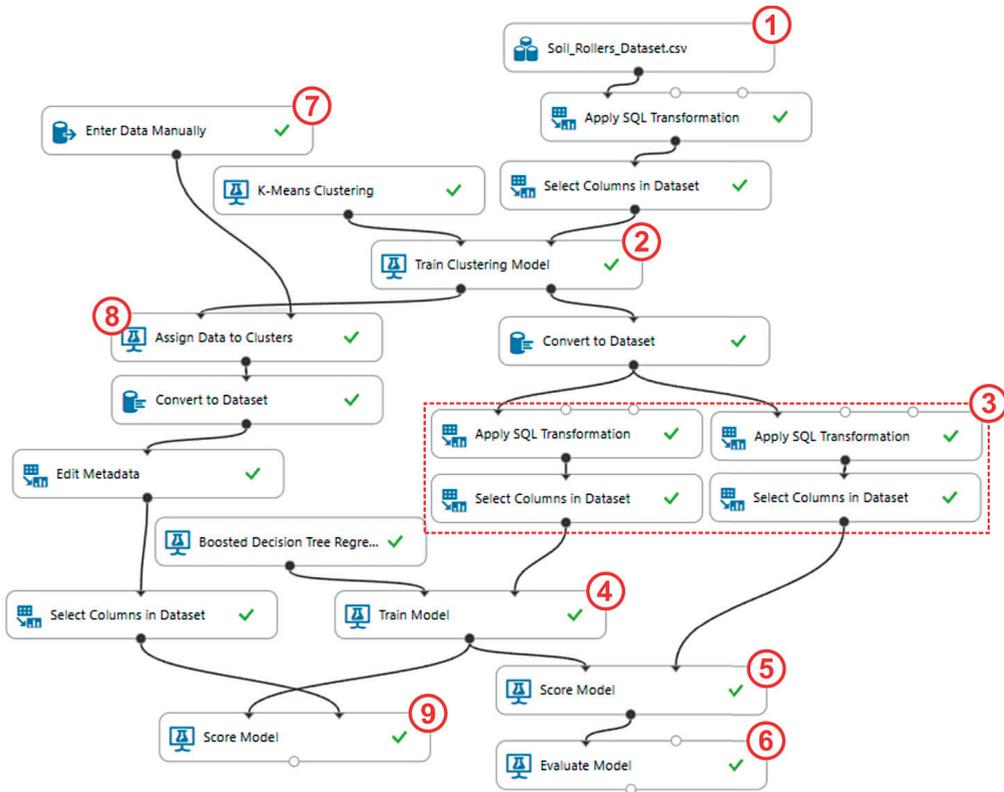


Рис. 1. Рабочее пространство проекта

В блоках 3 происходит разделение общей массы катков на две части. Слева остается основная часть, используемая для обучения модели. В правой части — 7 случайно выбранных катков, характеристики которых не участвуют в обучении. На них дальше будет тестироваться качество обученной модели.

В данном примере для обучения (блок 4) использовалась модель «дерево решений», давшее наилучшие результаты. Опробовались также модели «линейная регрессия», «регрессия пуассона», «нейросетевая регрессия» и др.

В блоке 5 осуществляется расчет искомого параметра на основе обученной модели для 7 катков, не участвовавших в обучении. На рисунке 2 показан результат этого расчета.

Столбец *KulachN* показывает паспортное число кулачков, а столбец *Scored Labels* — число, рассчитанное с помощью обученной модели. В блоке 6 осуществляется оценка достоверности. Для данного эксперимента коэффициент детерминации составил 0,953.

Mass_kg	VibrM_kg	Power_kw	ShV_mm	DiaV1_mm	KulachN	Freq1_Hz	Freq2_Hz	VinSil1_kN	VinSil2_kN	Assignments	Scored Labels
9220	5260	74	1680	1300	104	30	40	160	145	3	103.167763
12695	7560	116	2200	1500	140	32	35	277	206	2	136.350235
3900	1650	33	1200	890	70	41	41	85	43	3	75.888382
13100	7600	119	2130	1480	150	30	36	300	225	2	145.511017
20000	12690	147	2220	1584	150	27	30	331	243	0	149.052368
12000	7400	82	2130	1523	130	33	33	300	146	2	128.888077
16800	11600	134	2134	1549	140	30	0	332	166	0	134.188034

Рис. 2. Результаты оценки качества модели

Блок 7 используется для ручного добавления произвольных характеристик катков. В блоке 8 осуществляется кластеризация добавленных машин и в блоке 9 — расчет искомого параметра по введенным характеристикам.

Эта же схема может использоваться для обучения модели определения вынуждающей силы, размеров вальца, мощности силовой установки и других параметров, требующихся на стадии проектирования катков.

### Список литературы

1. Тюремнов И. С., Игнатьев А. А. Оценка уплотняющей способности вибрационных катков при уплотнении грунтов // Мир дорог. 2012. № 61 (май). С. 86–89.
2. Göransson Axås J. A coupled multibody and discrete element approach for roller compaction dynamics. 2020. P. 64. URL: <https://odr.chalmers.se/items/e7ca51f5-5017-4327-97dc-9299cdcaac0> (дата обращения: 20.11.2022).
3. Тюремнов И. С., Игнатьев А. А., Филатов И. С. Статистический анализ технических характеристик грунтовых вибрационных катков // Вестн. Тихоокеан. гос. ун-та. 2014. № 3. С. 81–88.