

Научный семинар

Центра образовательных программ топ-уровня в сфере ИИ «ВиртУм»



Интеллектуальный анализ временных рядов: параллельные алгоритмы и нейросетевые модели

М.Л. Цымблер, Я.А. Краева

[mzym](mailto:mzym@susu.ru), [kraevaya](mailto:kraevaya@susu.ru)@susu.ru

ЮУрГУ, Челябинск
24 ноября 2025

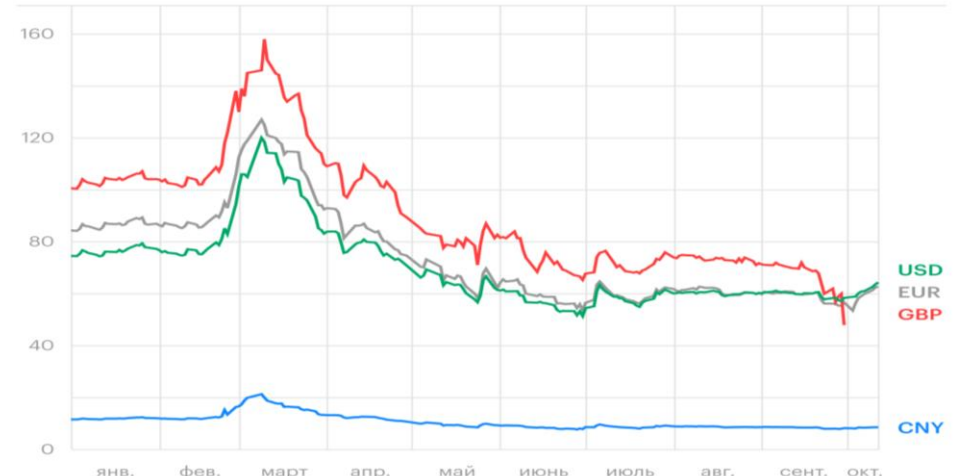
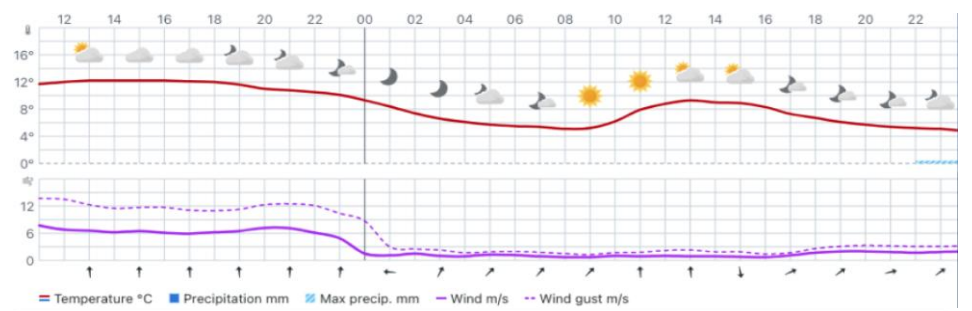
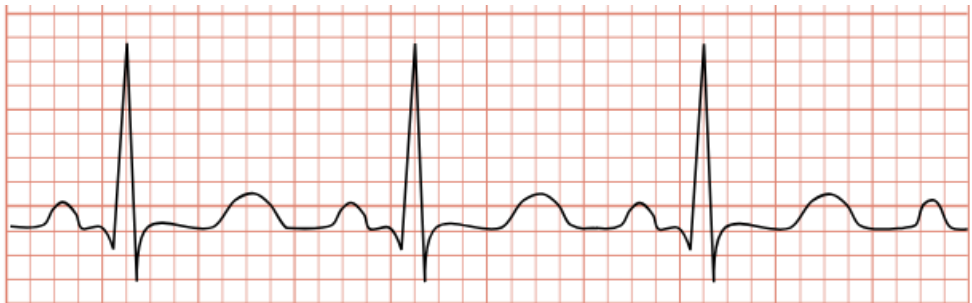
Люди измеряют всевозможные вещи, соотнося их со временем

Статистика уголовных дел в отношении высокопоставленных чиновников

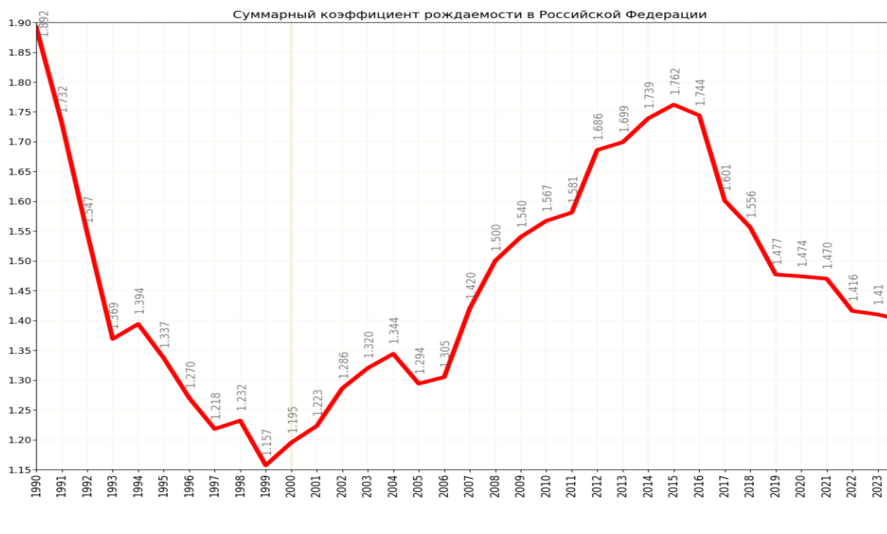
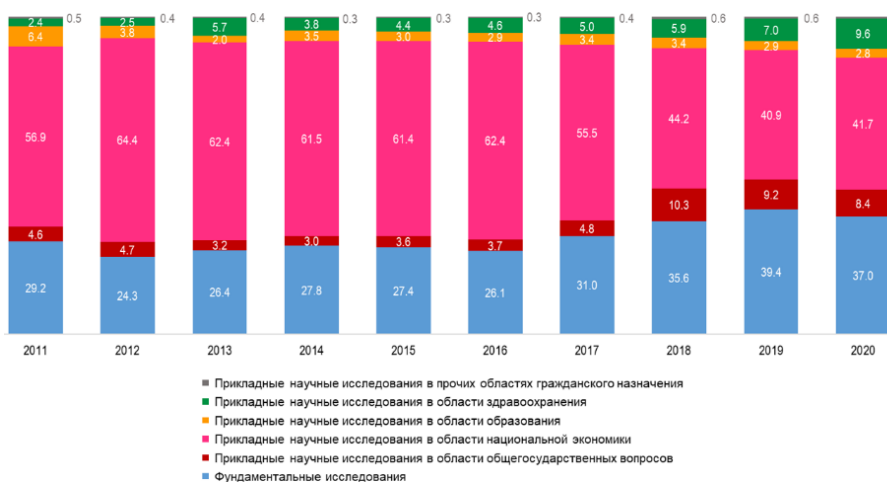


Заболееваемость COVID-19 в Челябинской области

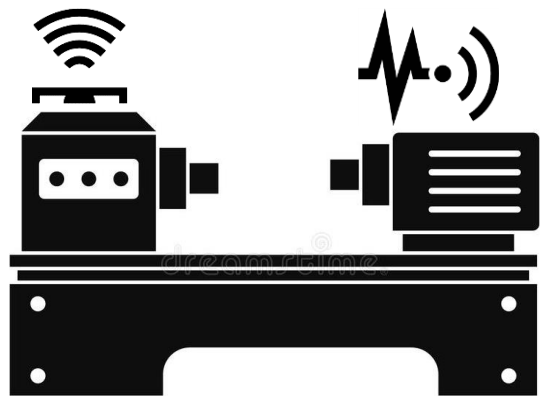
Сколько человек заразилось и умерло с 4 октября по 3 ноября 2021 г.



с. 1. Структура ассигнований на гражданскую науку из средств федерального бюджета по подразделам классификации расходов бюджетов: 2011–2020 (%)



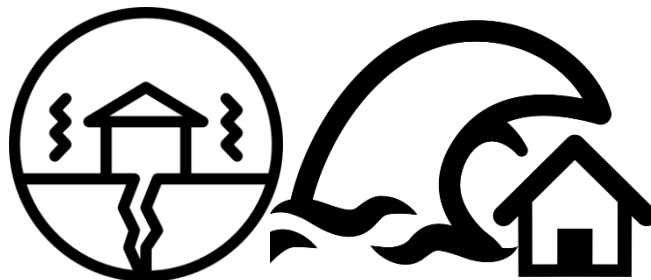
Где востребован интеллектуальный анализ временных рядов



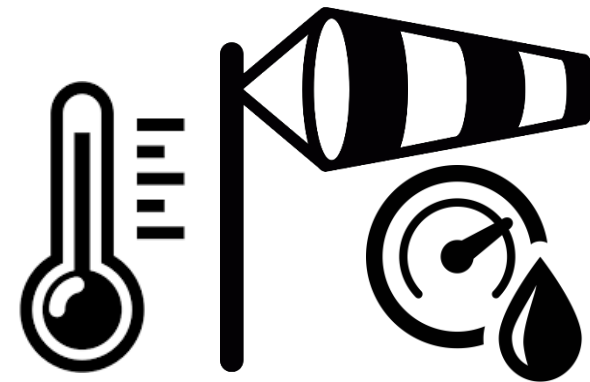
Умное производство,
предиктивное ТО



Интернет
вещей



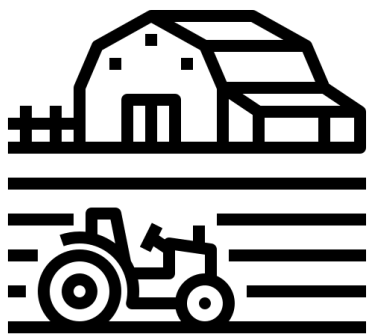
Предсказание
природных катаклизмов



Прогноз погоды,
моделирование климата



Персональная
медицина



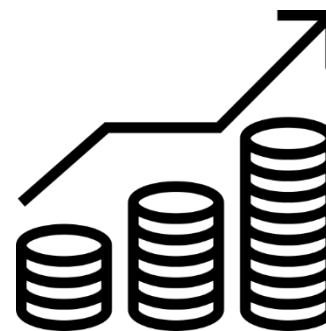
Сельское хоз-во,
животноводство



Борьба
с преступностью



Био- и хемо-
информатика

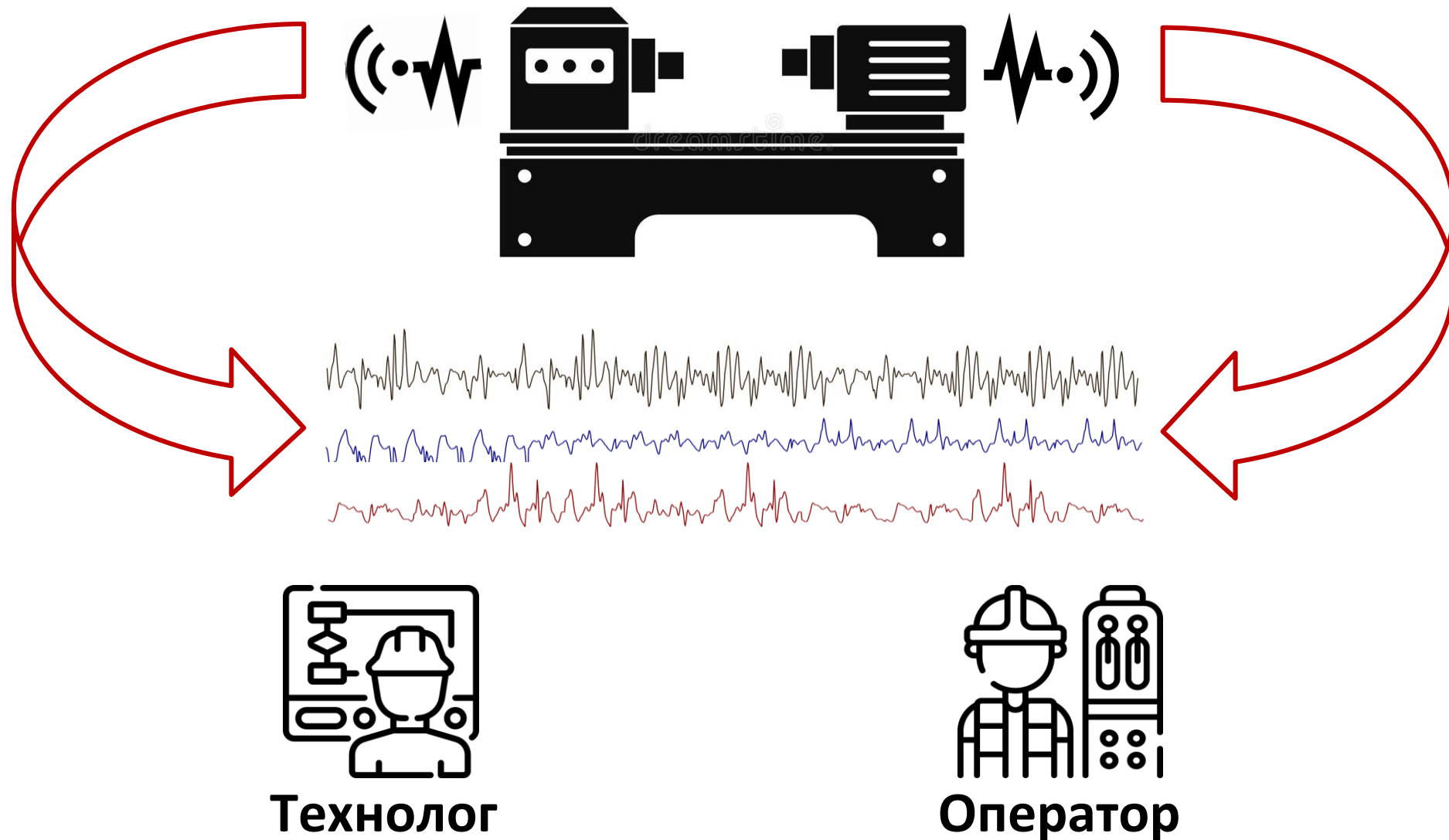


Экономика, бизнес,
финансы

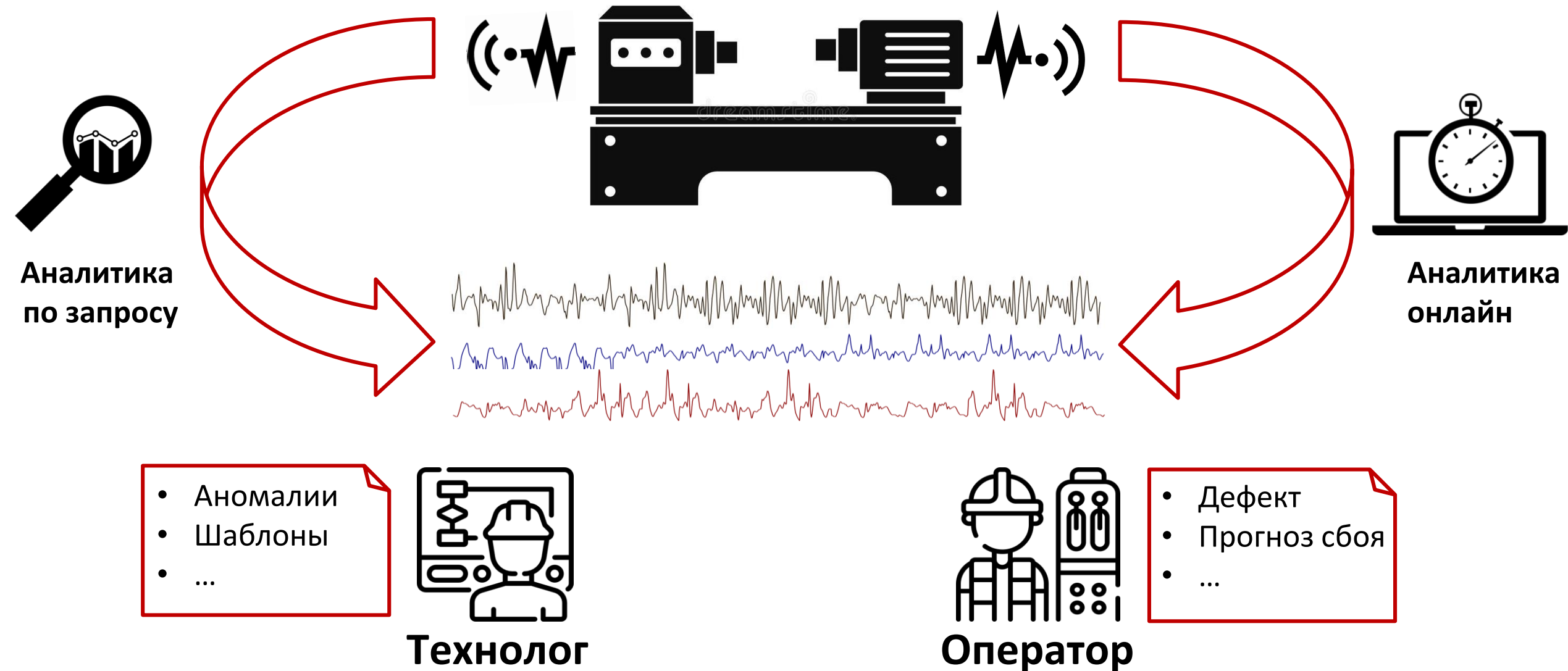


Системы
электронного обучения

Временные ряды в цифровой промышленности

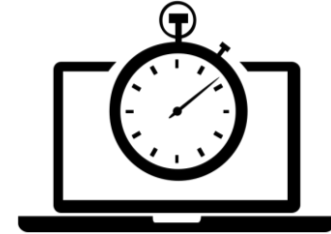
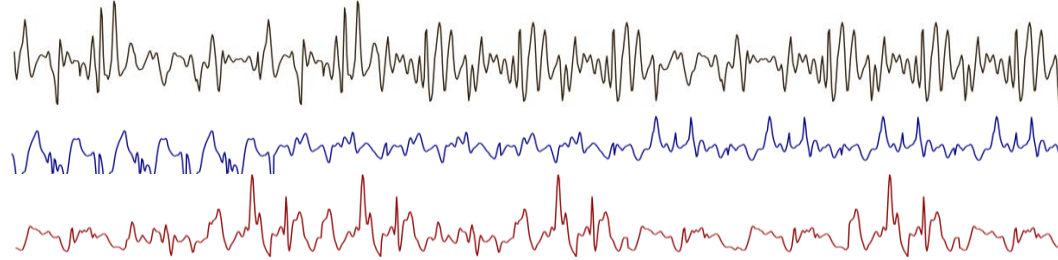


Временные ряды в цифровой индустрии

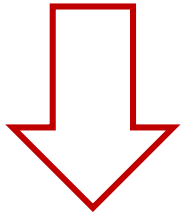


Интеллектуальный анализ временных рядов

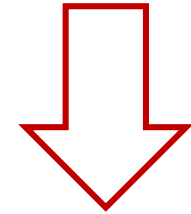
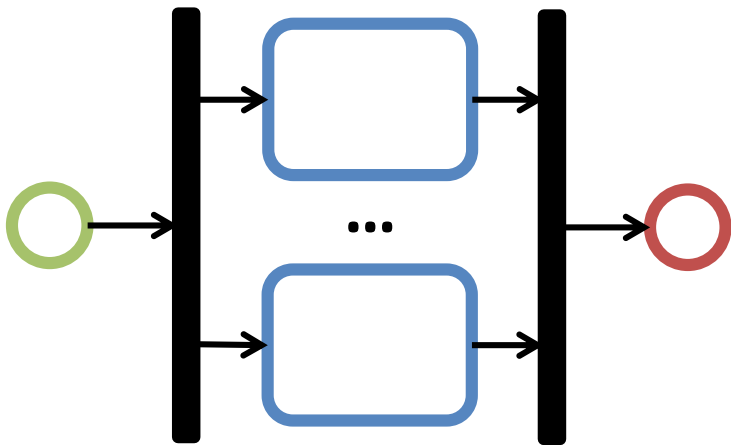
Аналитика
по запросу



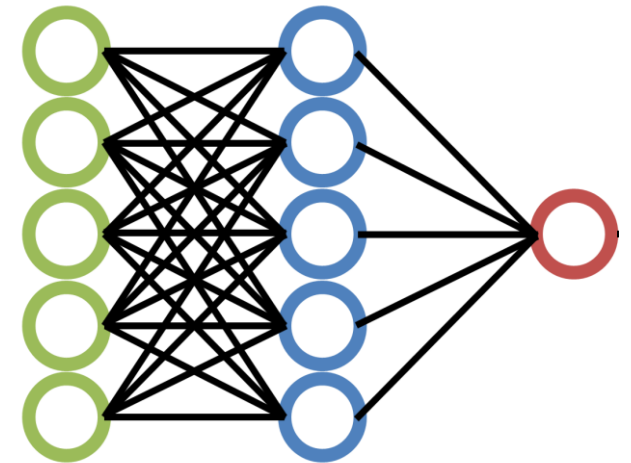
Аналитика
онлайн



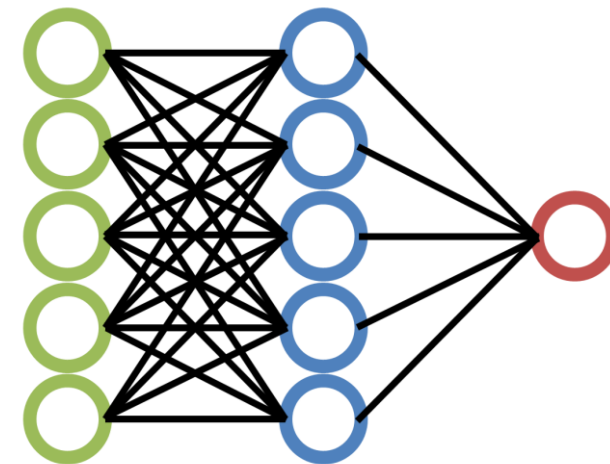
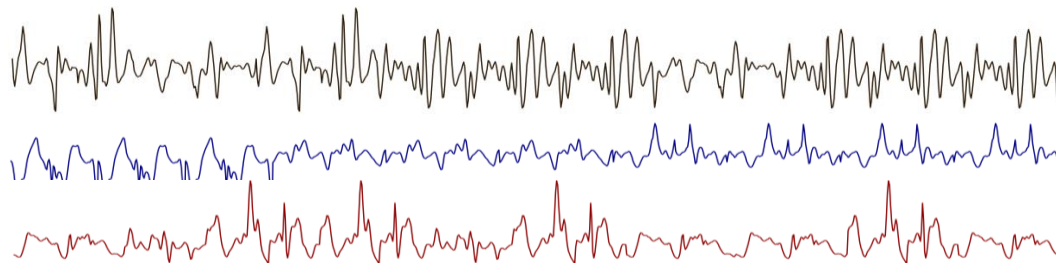
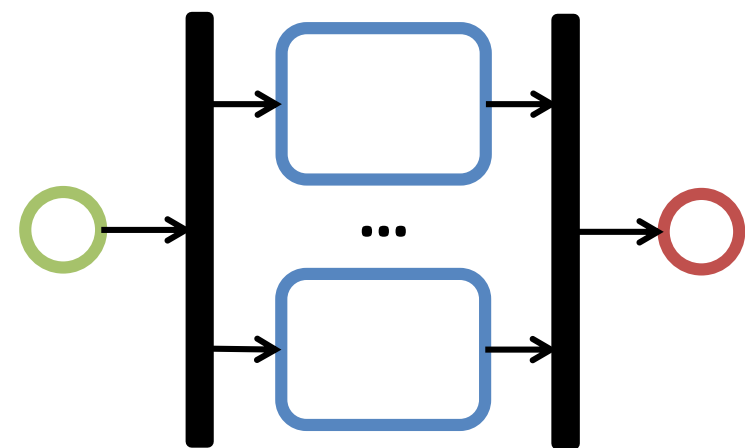
Параллельные алгоритмы



Нейросетевые модели



Параллельные алгоритмы vs нейросетевые модели



Математическая формализация

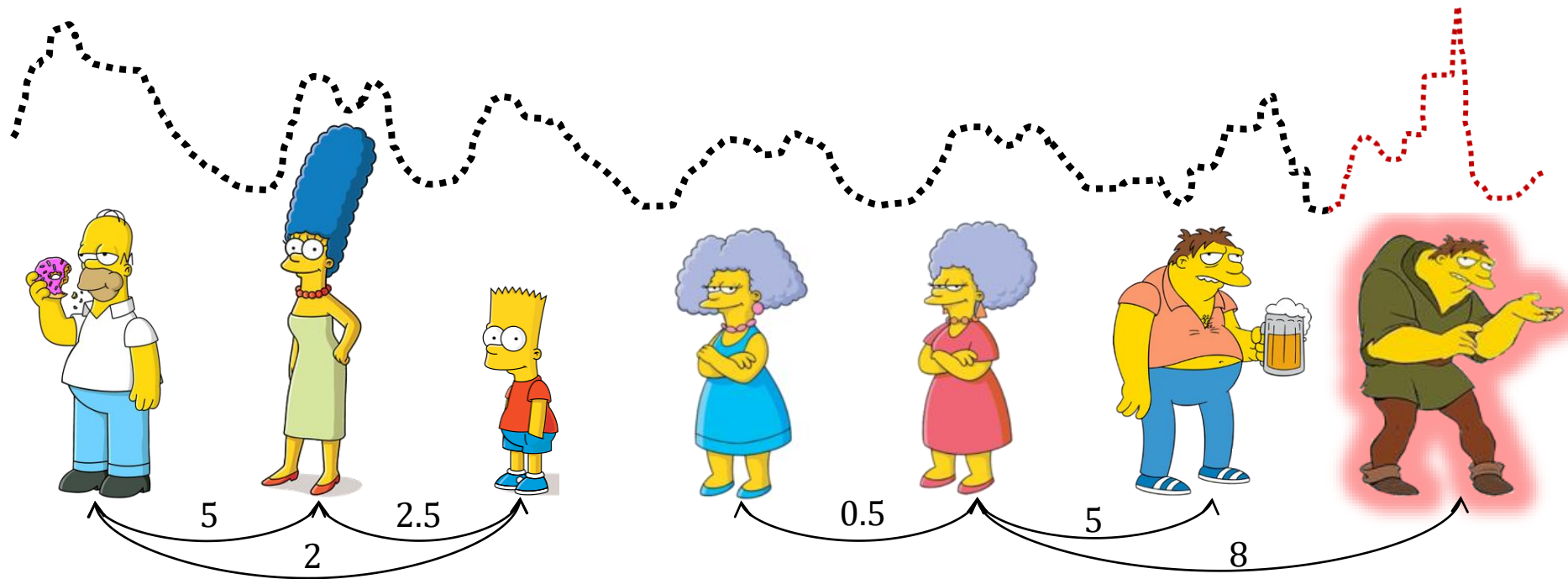
-  Быстрое выполнение (по запросу)
-  Не требуют разметки данных и обучения
-  Медленные для режима онлайн

Обучение на размеченных данных

-  Быстрое выполнение (онлайн)
-  Не требуют формализации интуитивных понятий
-  Требуют времени на разметку данных и обучение

Формализация аномалии временного ряда

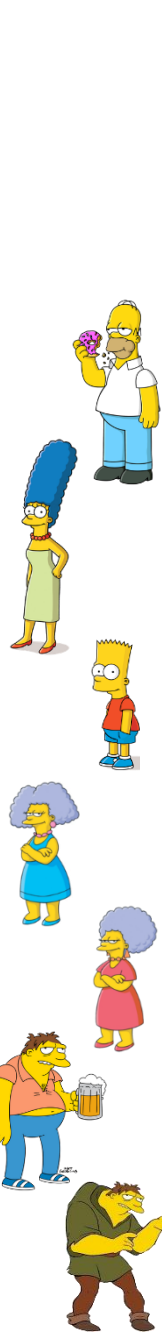
- **Диссонанс*** – подпоследовательность заданной длины, расстояние от которой до ее ближайшего соседа максимально
- *Ближайший сосед* – наиболее похожая подпоследовательность



* Keogh E. et al. HOT SAX: Efficiently finding the most unusual time series subsequence. ICDM 2005. pp. 226-233. DOI: [10.1109/ICDM.2005.79](https://doi.org/10.1109/ICDM.2005.79)

Диссонансы

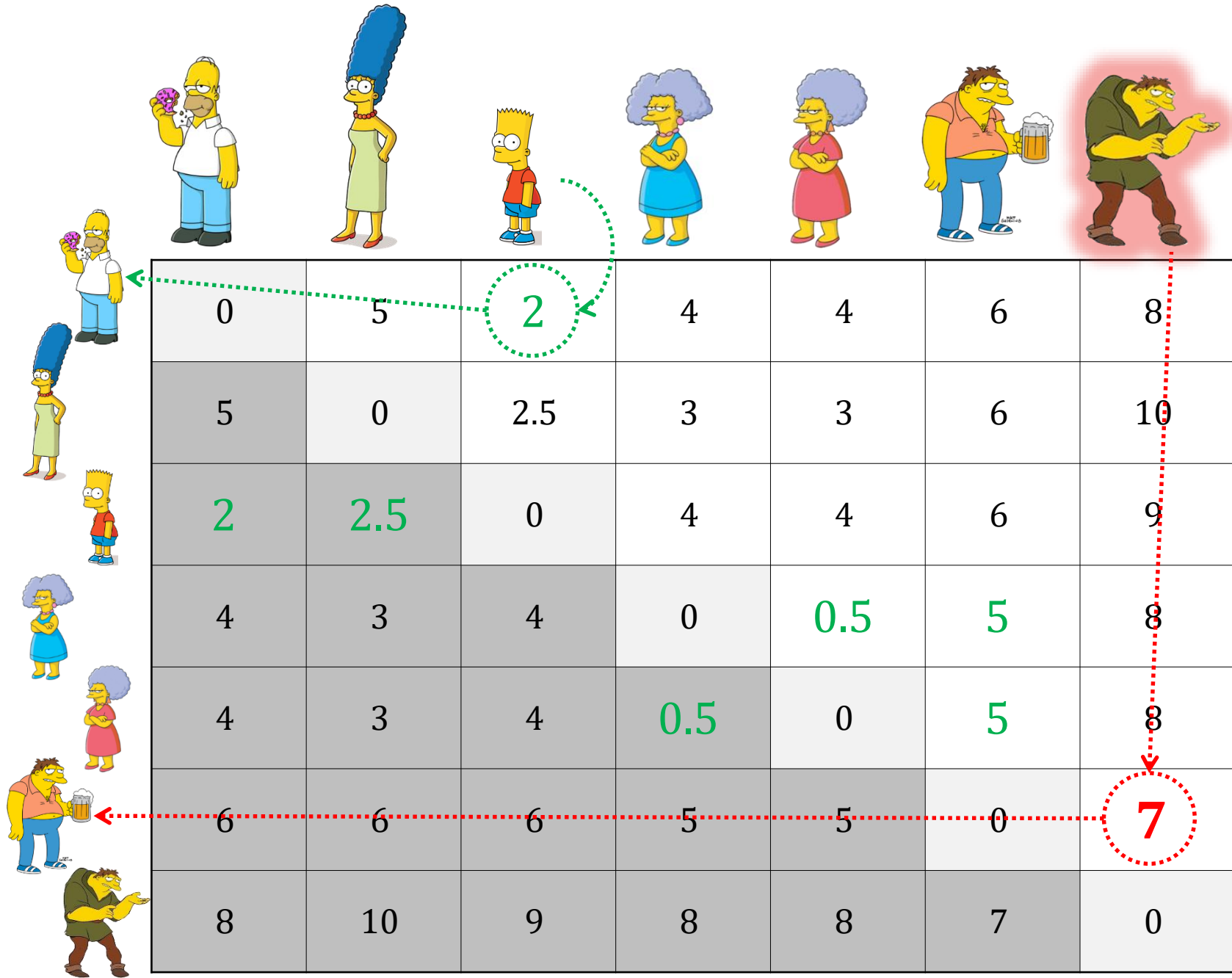
Матрица расстояний:
чем ближе соседи,
тем более они похожи



							
	0	5	2	4	4	6	8
	5	0	2.5	3	3	6	10
	2	2.5	0	4	4	6	9
	4	3	4	0	0.5	5	8
	4	3	4	0.5	0	5	8
	6	6	6	5	5	0	7
	8	10	9	8	8	7	0

Диссонансы

Матрица расстояний
с **максимальным**
расстоянием
до ближайшего соседа
(**максимум**
минимумов по столбцам)



Кейс: Управление теплоснабжением в ЮУрГУ

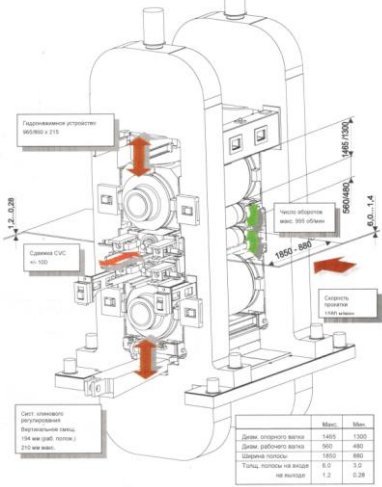
Температура воздуха в ауд. 434/36 ЮУрГУ в 2018 г.*



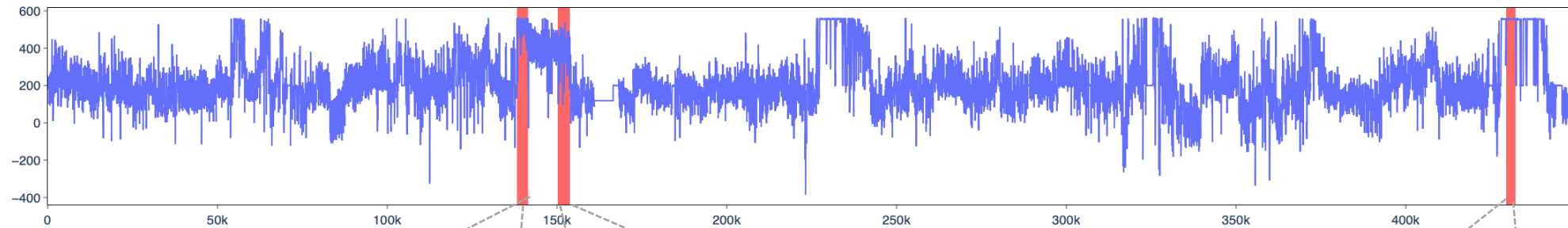
* Zymbler M., Kraeva Ya. *et al.* Cleaning sensor data in smart heating control system. GloSIC 2020. pp. 375-381. DOI: [10.1109/GloSIC50886.2020.9267813](https://doi.org/10.1109/GloSIC50886.2020.9267813).

Кейс: Прокатный стан ПАО «ММК»

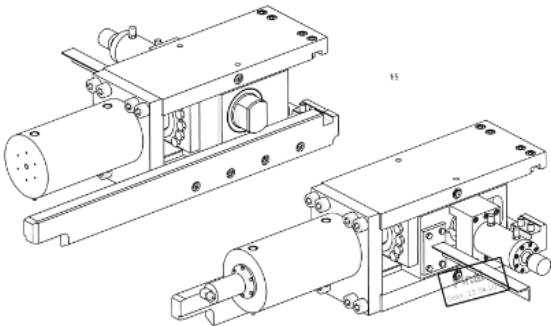
Клеть стана



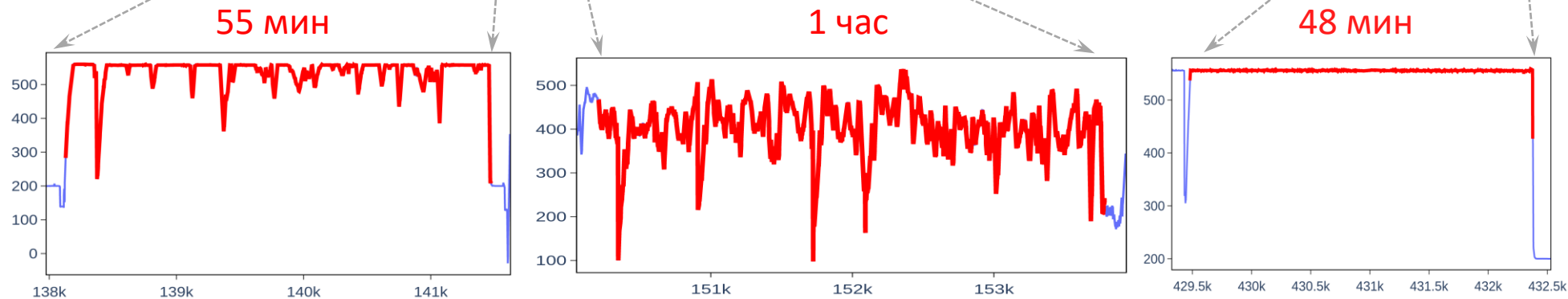
Фактическое изгибающее усилие при качении



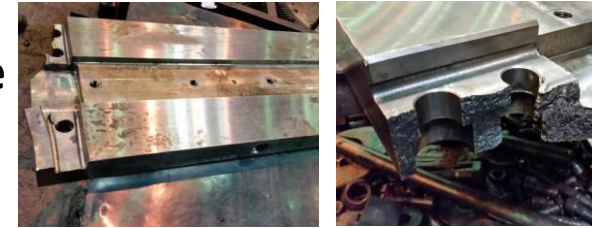
Система валков с непрерывно изменяемой кривизной (CVC, continuously variable curvature)



Топ аномалии (период 0.5-1.5 час)

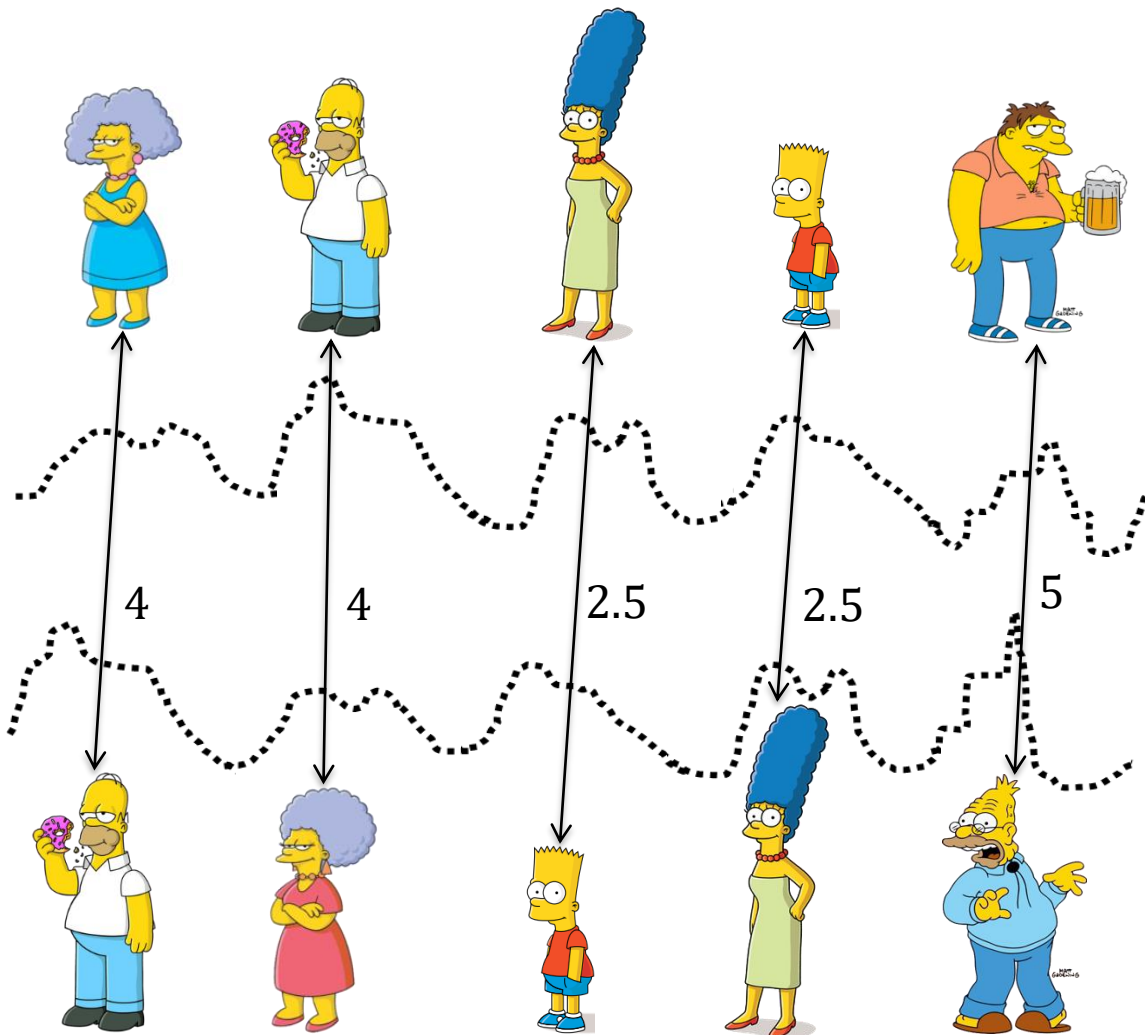


Разрушение плит СВС

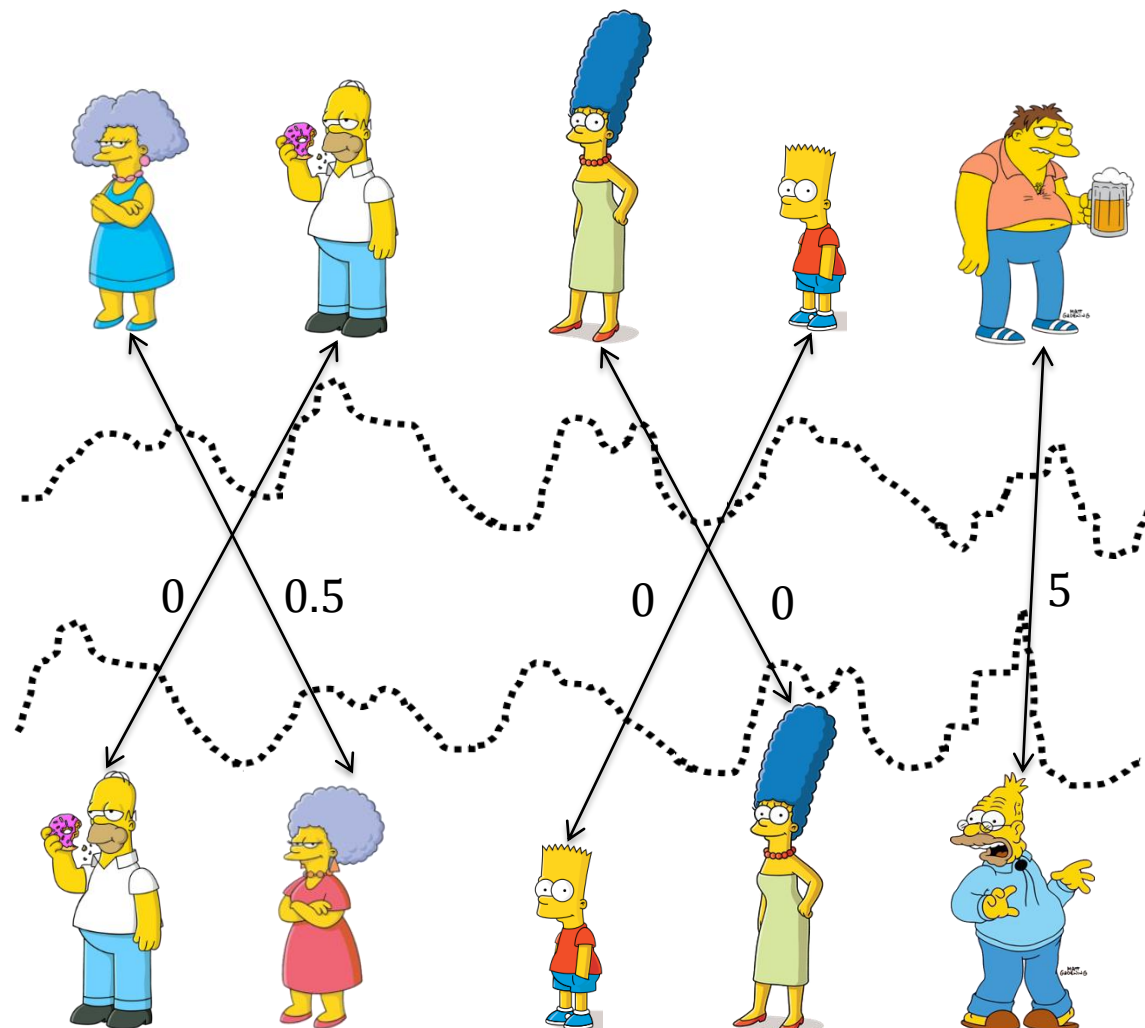


Формализация схожести поведения

Расстояние Евклида между рядами ≈ 8

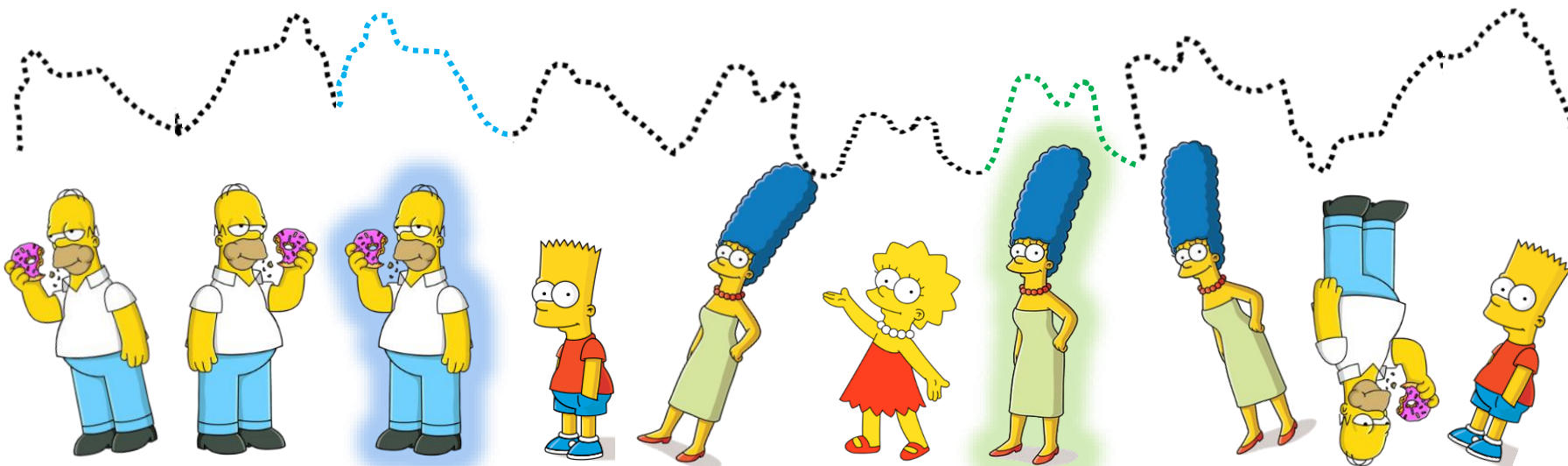


Расстояние MPdist* между рядами ≈ 0



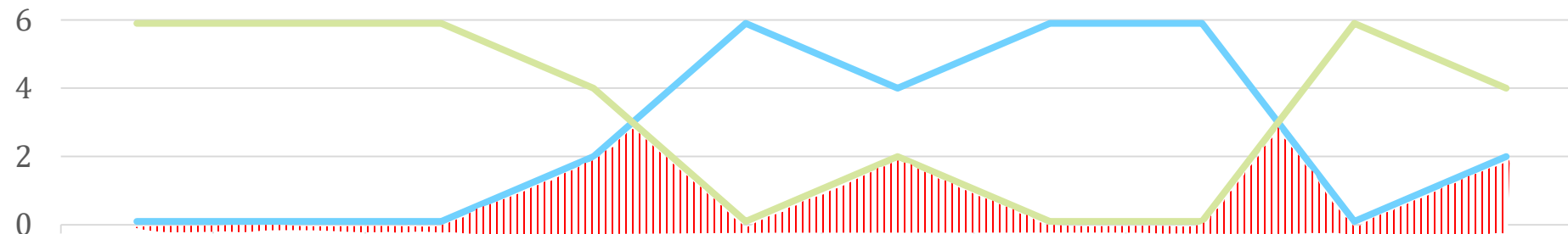
* Gharghabi S. et al. An ultra-fast time series distance measure to allow data mining in more complex real-world deployments. DMKD. 2020. (34). pp. 1104-1135. DOI: [10.1007/s10618-020-00695-8](https://doi.org/10.1007/s10618-020-00695-8)

Формализация поведенческих шаблонов



Шаблоны
соответствуют набору
подпоследовательностей,
для которого площадь под
кривой расстояний MPdist
до ближайшего соседа
минимальна

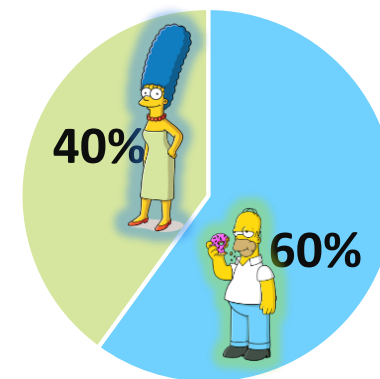
Расстояние MPdist до ближайшего соседа



Разметка ряда на основе поведенческих шаблонов

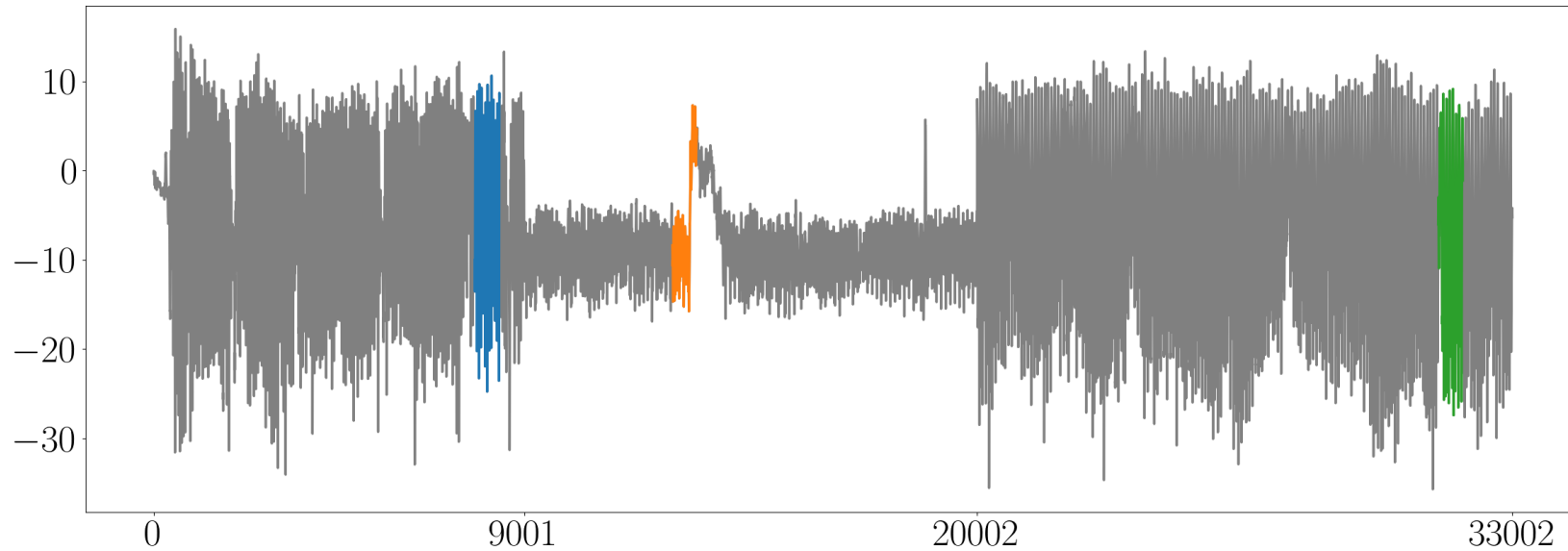


Распределение активностей
на основе шаблонов

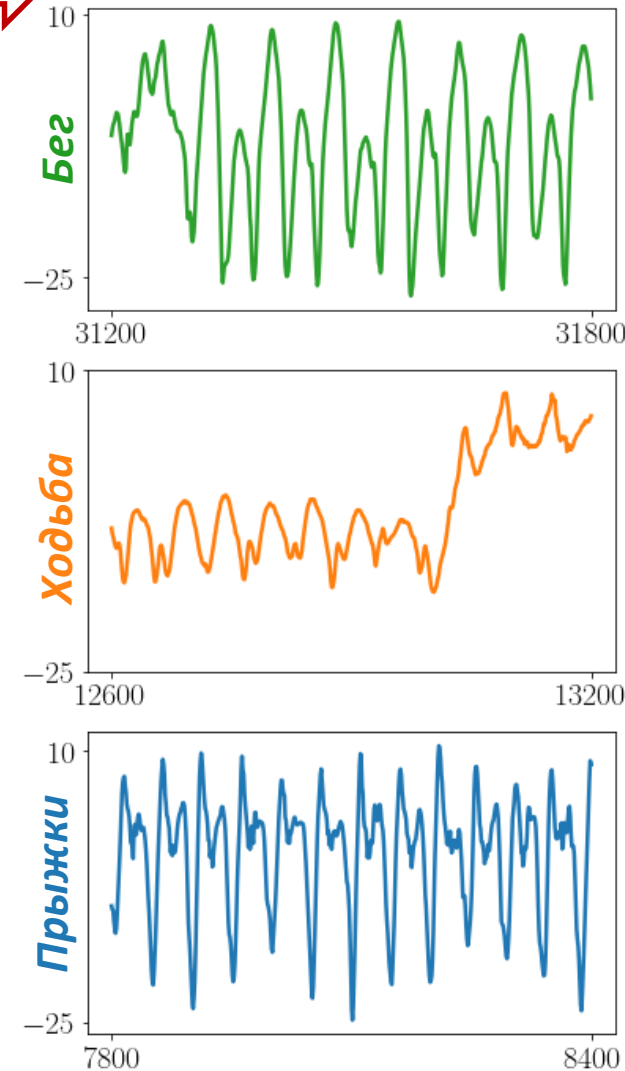


Кейс: Тренировка спортсмена

Показания носимого виброакселерометра во время тренировки



Найденные шаблоны



Разметка показаний виброакселерометра на основе шаблонов

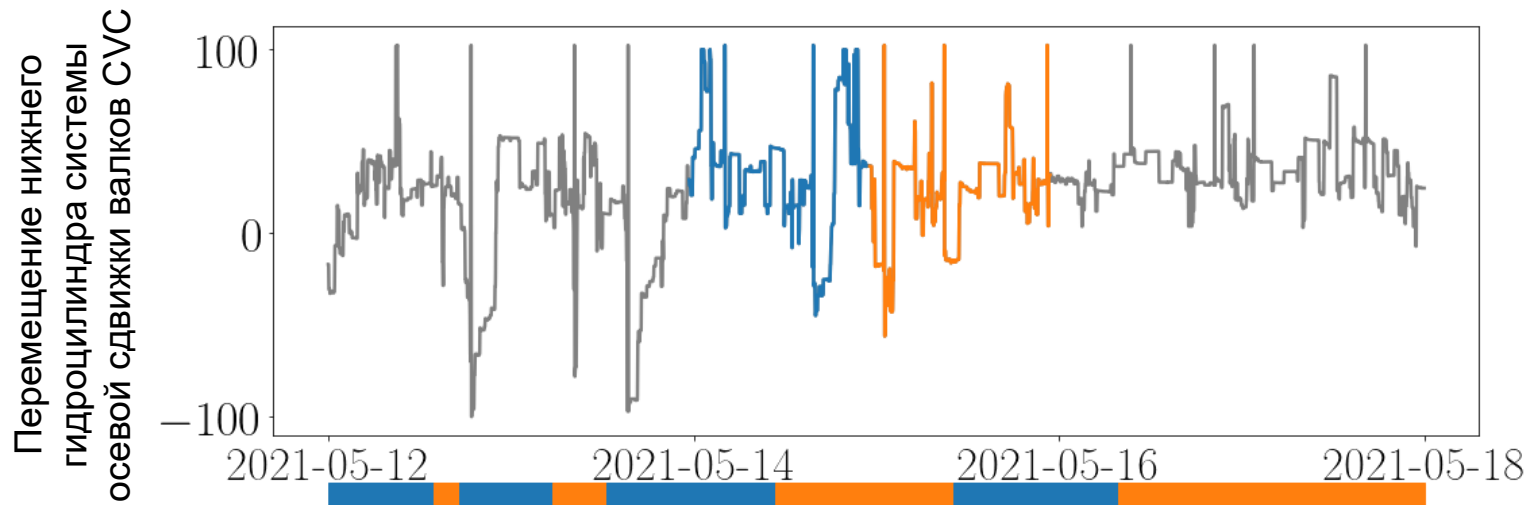


Расписание тренировки (истинная разметка)

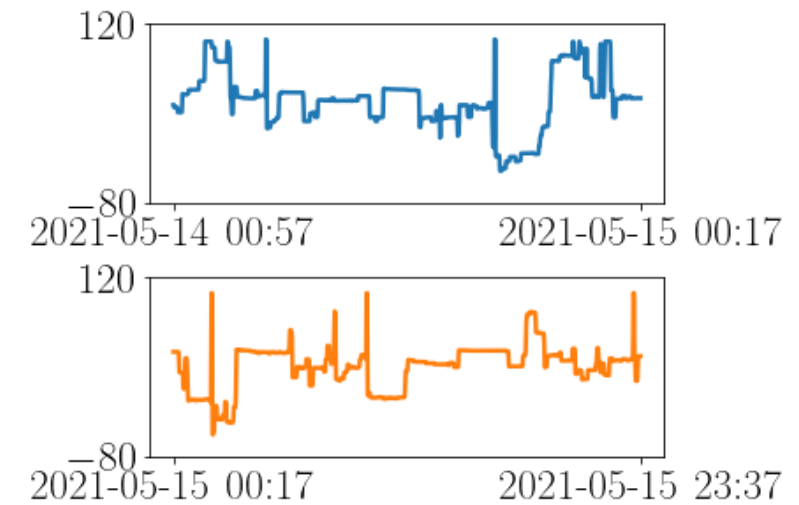
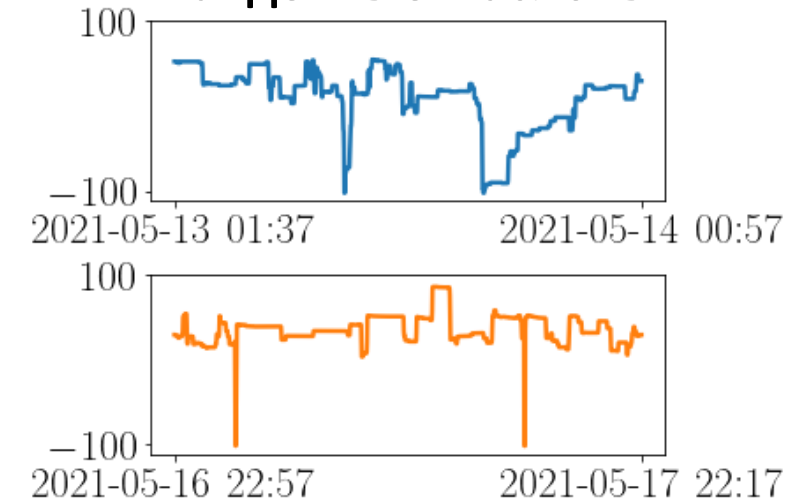


Кейс: Прокатный стан ПАО «ММК»

Разметка с помощью параллельного алгоритма*



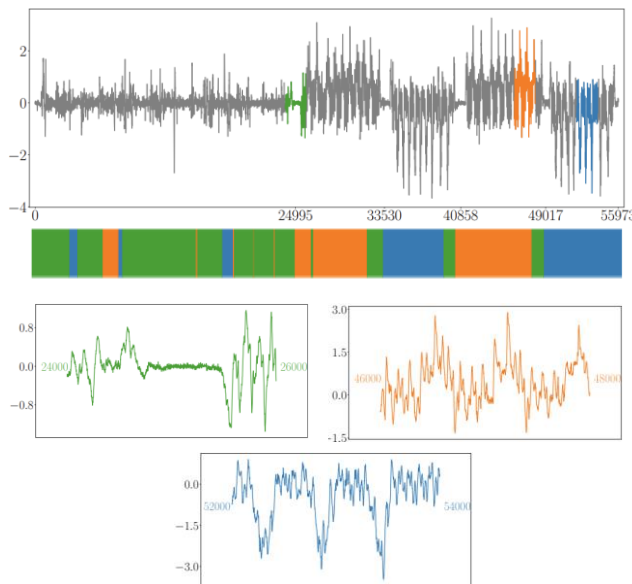
Найденные шаблоны



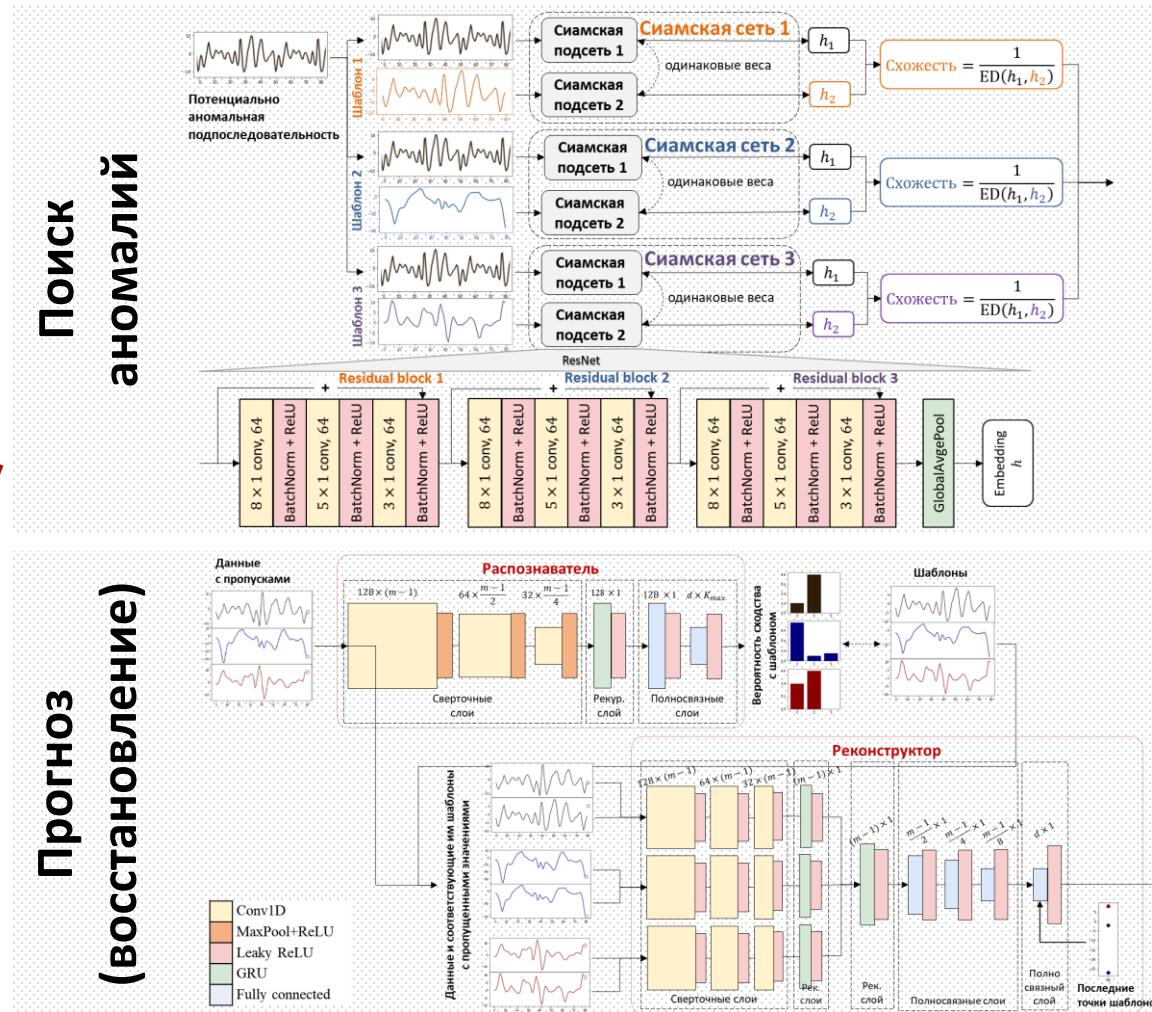
* Zymbler M., Gogachev A. Fast summarization of long time series with graphics processor. Mathematics. 2022. 10(10). Article 1781. DOI: [10.3390/math10101781](https://doi.org/10.3390/math10101781)

Параллельные алгоритмы находят шаблоны для обучения нейросетевых моделей

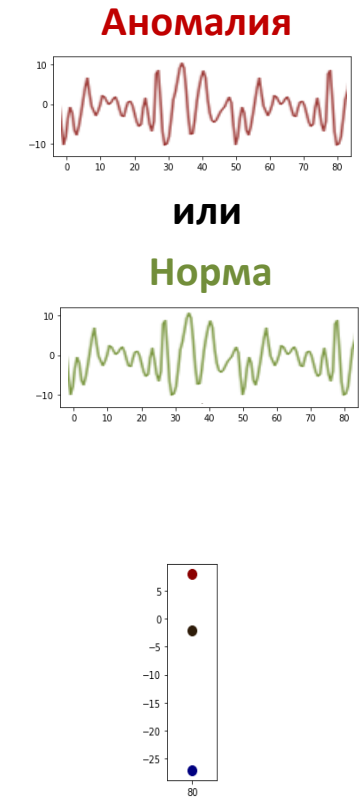
Разметка фрагмента ряда на основе шаблонов



Нейросетевая модель решения задачи анализа ряда



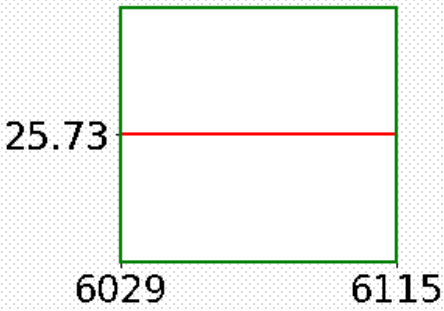
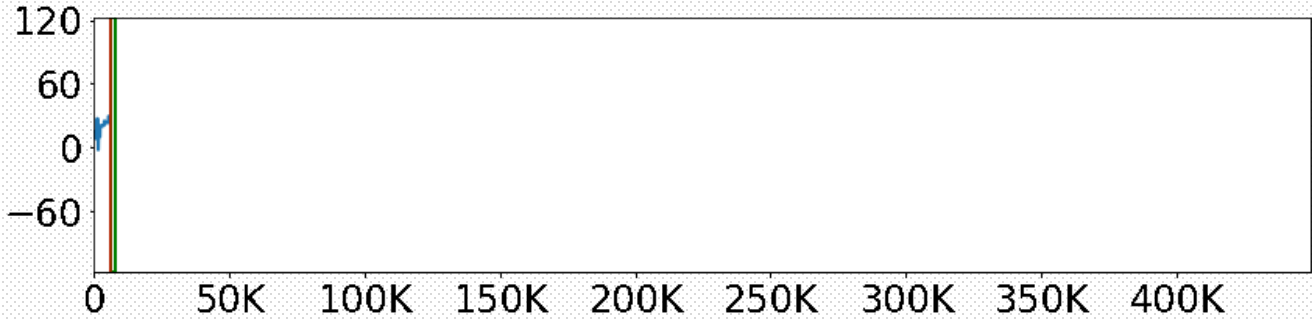
Анализ ряда в режиме онлайн



Кейс: Онлайн-мониторинг прокатного стана ПАО «ММК»

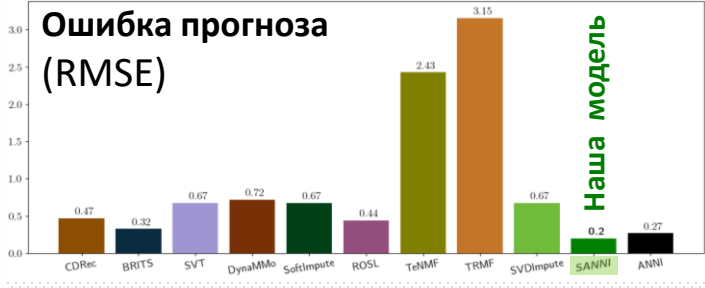
Обнаружение аномалий

Перемещение
нижнего
гидроцилиндра
системы осевой
сдвиги валков



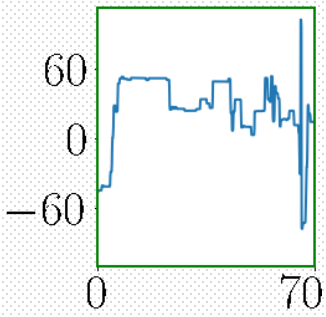
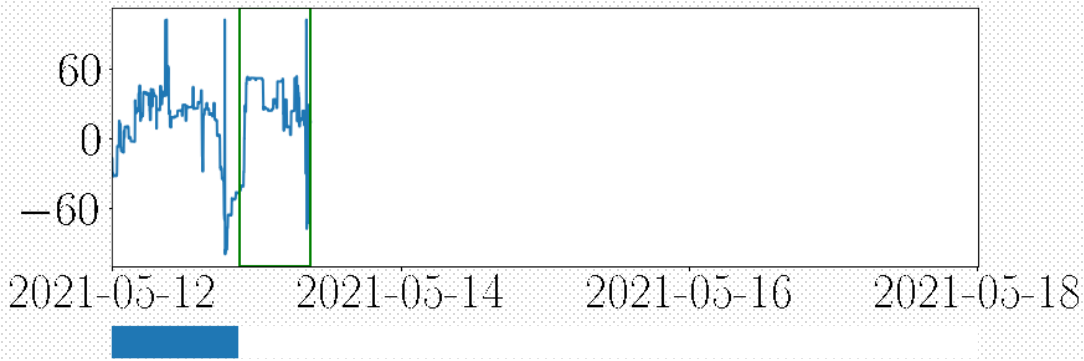
Прогноз (восстановление)

Фактическое
изгибающие
усилие
прокатки

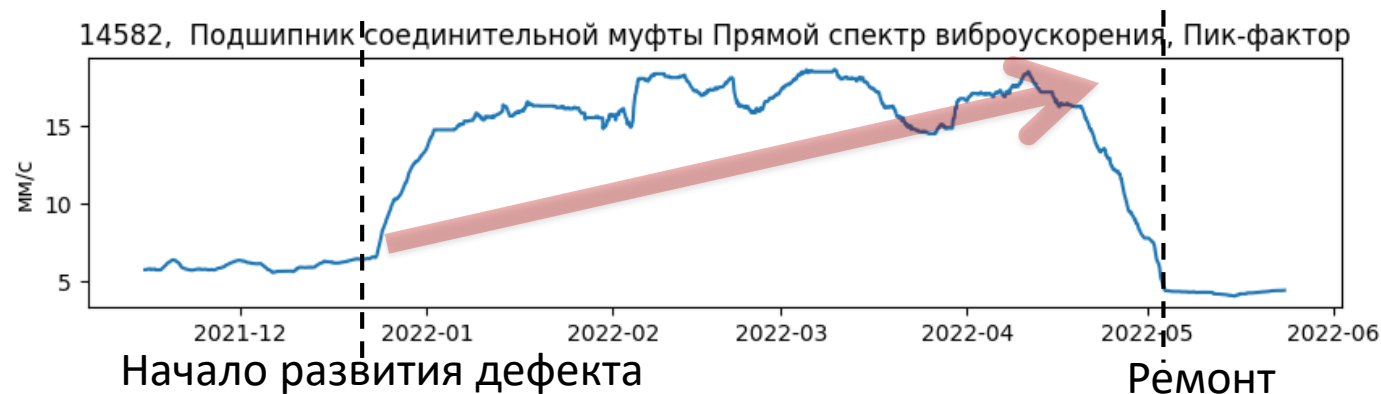


Определение режимов работы

Перемещение
верхнего
гидроцилиндра
системы осевой
сдвиги валков



Кейс: Прогноз остаточного ресурса подшипников



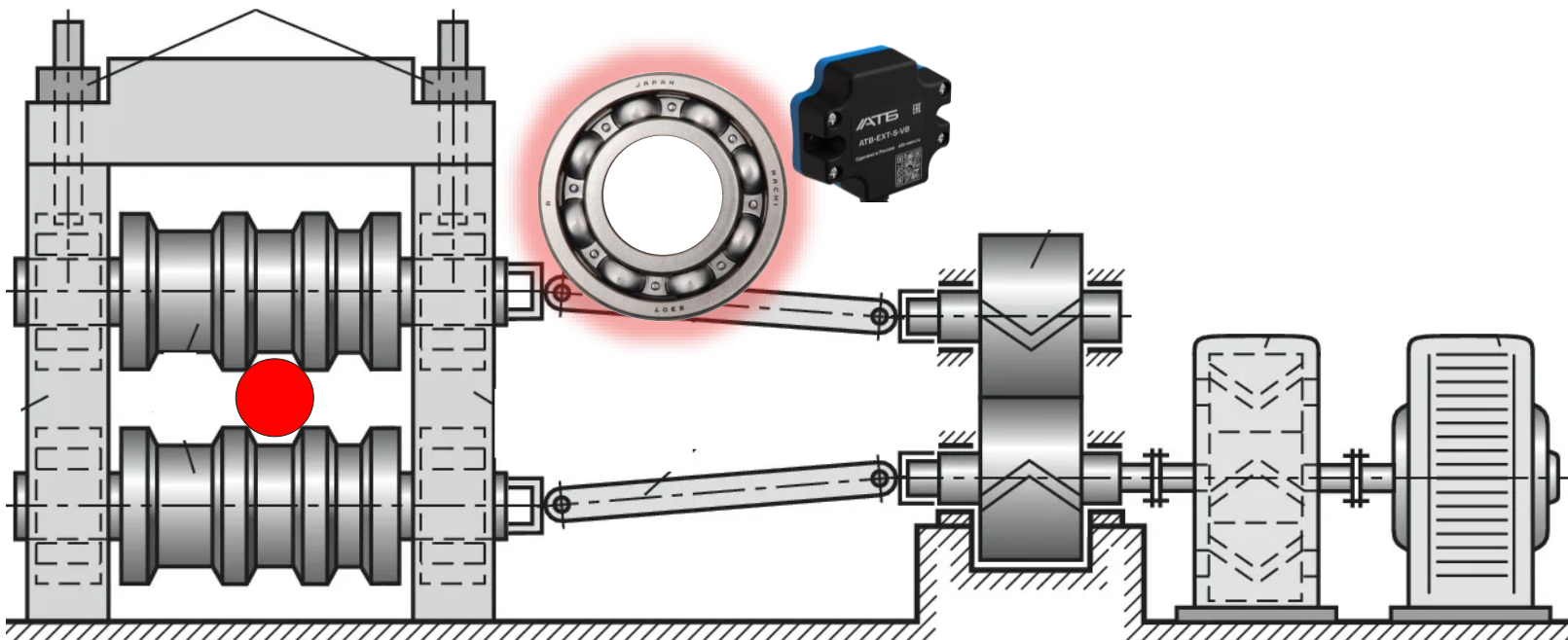
Профиль арматурный



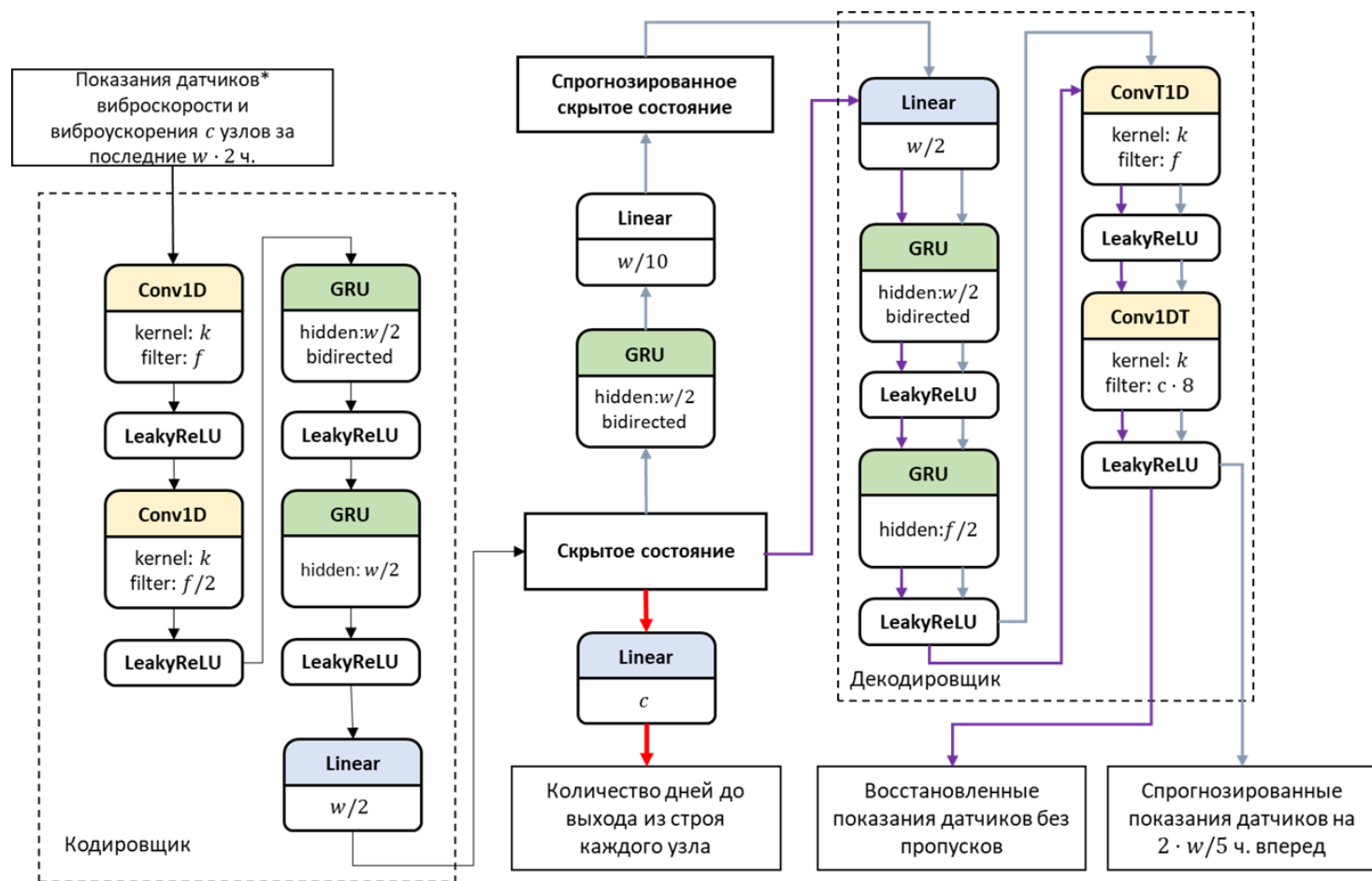
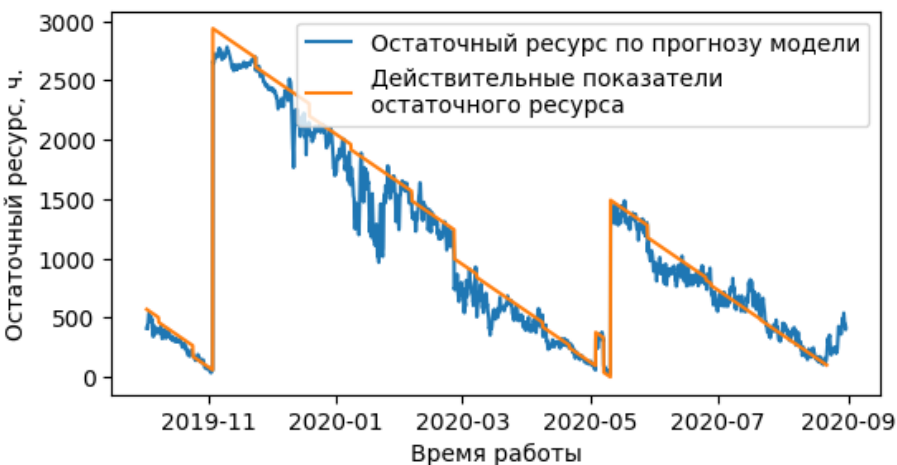
Квадрат



Круг

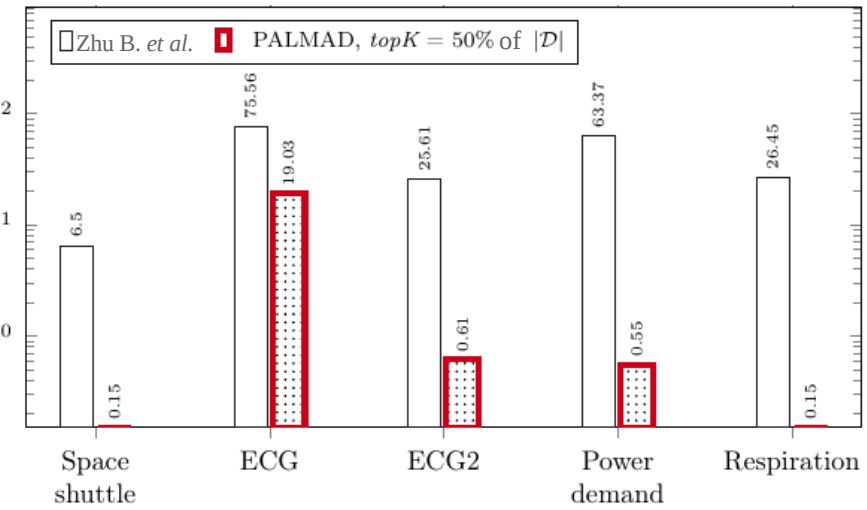
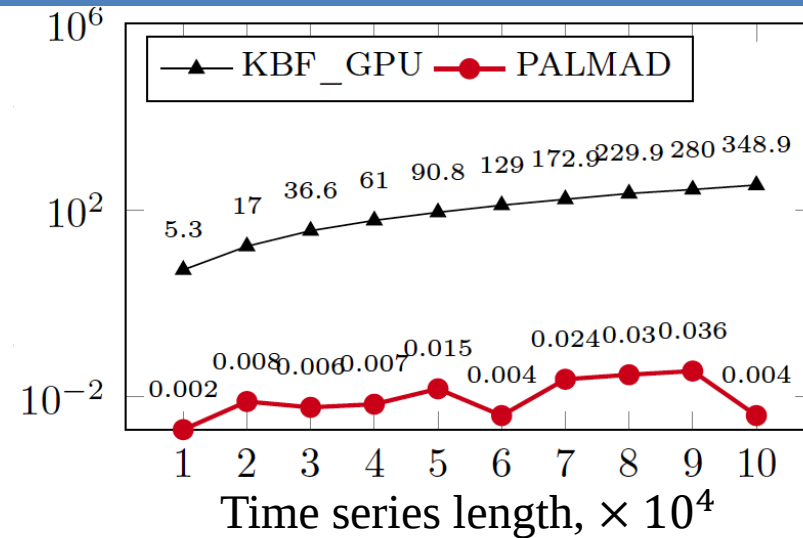


Модель прогноза остаточного ресурса подшипника



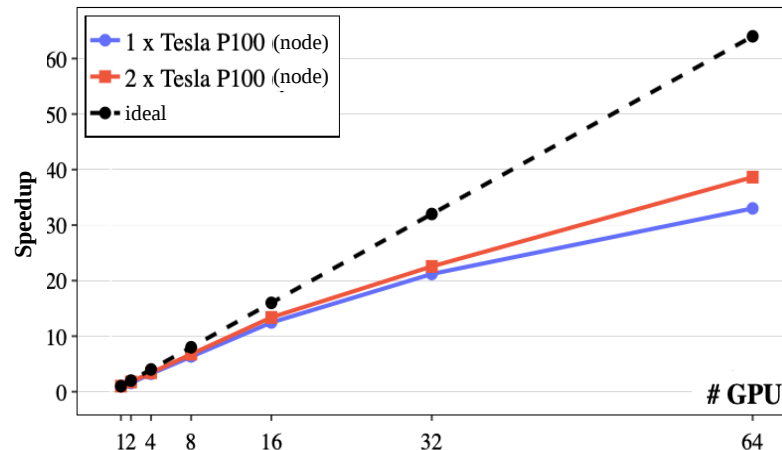
Наши алгоритмы поиска аномалий лучше аналогов

Алгоритм PALMAD
опережает аналоги
по среднему времени
на поиск одной аномалии
на GPU



Zymbler M., Kraeva Y. High-performance time series anomaly discovery on graphics processors. *Mathematics*. 2023. 11(14), 3193. DOI: [10.3390/math11143193](https://doi.org/10.3390/math11143193)

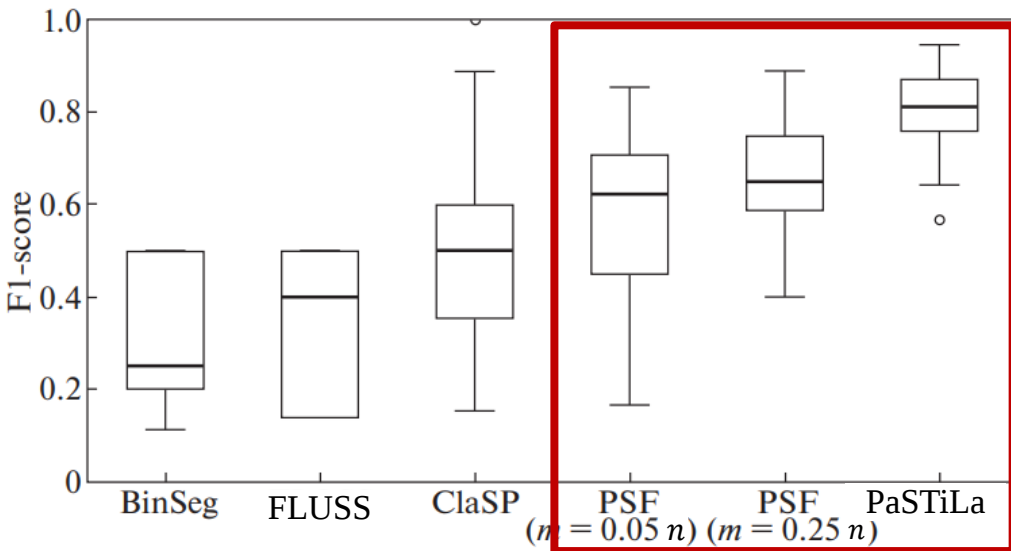
PADDi – единственный
алгоритм поиска аномалий
на кластере
с мульти-GPU узлами



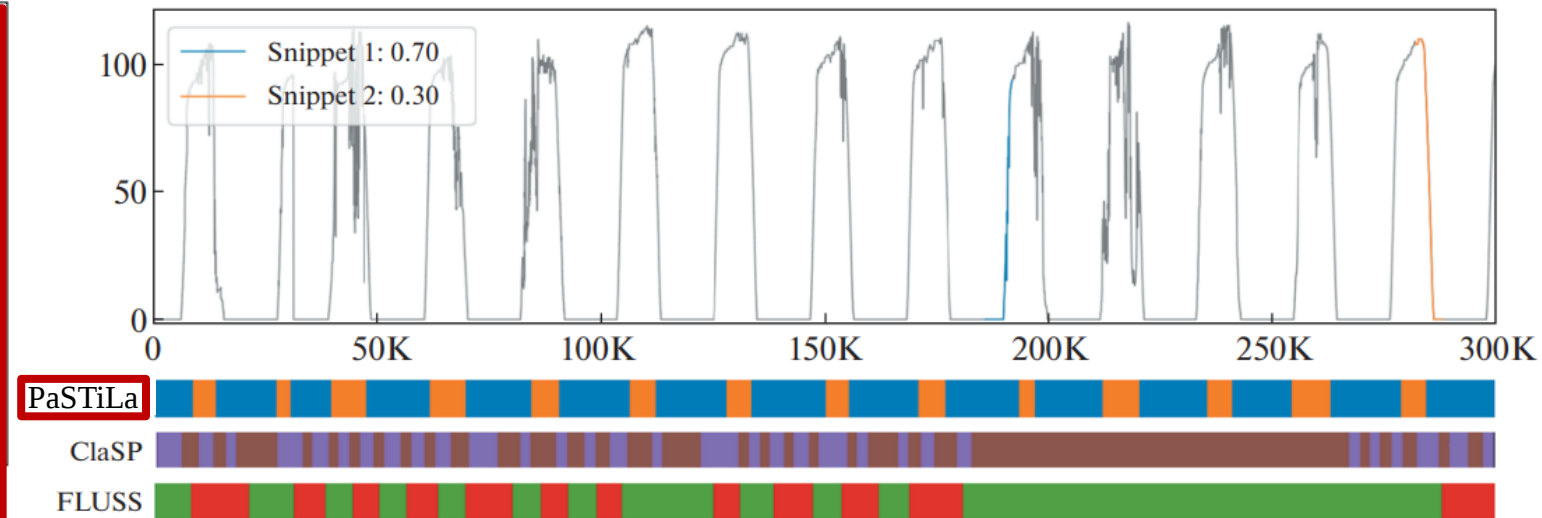
Kraeva Ya., Zymbler M. PADDi: Highly scalable parallel algorithm for discord discovery on multi-GPU clusters. *IJM*. 2025. 46(4), 1480–1494. DOI: [10.1134/S1995080225606198](https://doi.org/10.1134/S1995080225606198)

Наши алгоритмы поиска шаблонов лучше аналогов

**Алгоритмы PSF и PaSTiLa
опережают аналоги по точности
на размеченных данных теста
Time Series Segmentation Benchmark**



**Алгоритм PaSTiLa
показывает лучшую точность
на неразмеченных данных набора Solar Power
(Более точно определяются циклы смены дня и ночи)**



Zymbler M., Goglachev A. Fast summarization of long time series with graphics processor. Mathematics. 2022. 10(10). 1781. DOI: [10.3390/math10101781](https://doi.org/10.3390/math10101781)

Zymbler M., Goglachev A. PaSTiLa: Scalable parallel algorithm for unsupervised labeling of long time series. LJM. 2024. 45(3), 1333–1347. DOI: [10.1134/S1995080224600766](https://doi.org/10.1134/S1995080224600766)

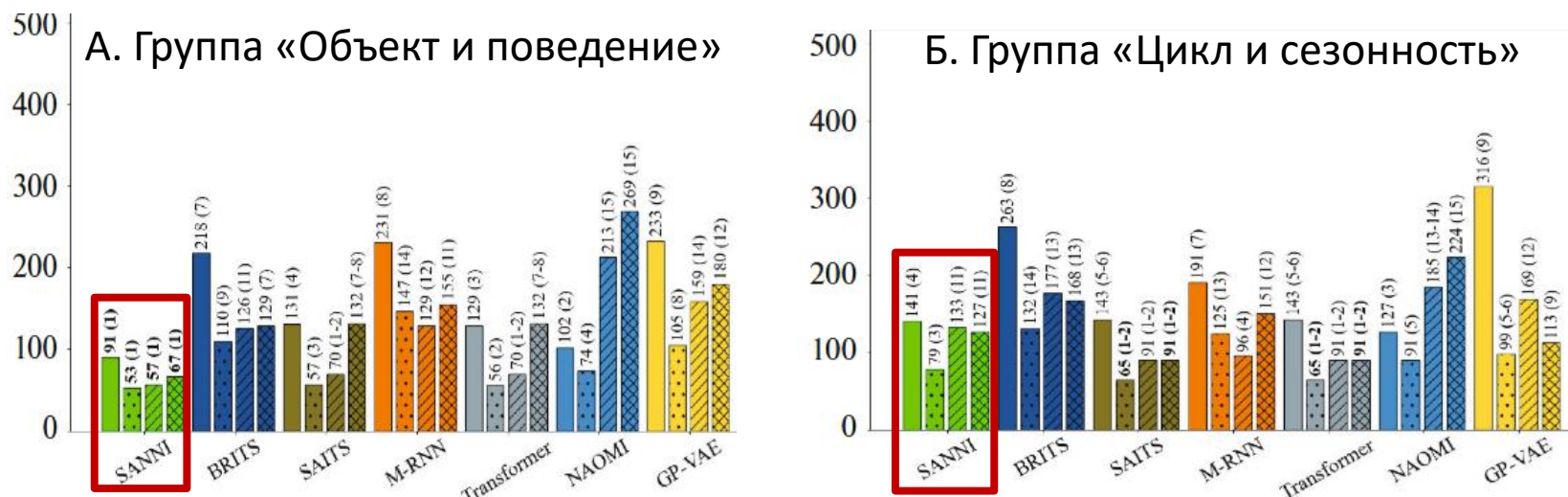
Наши модели прогноза (восстановления) лучше аналогов

Модели SANNI и SAETI опережают аналоги по точности прогноза (восстановления)

Сценарии прогноза (восстановления)

Blackout MCAR Disjoint Overlap

Yurtin A., Zymbler M. SANNI: Online imputation of missing values in multivariate time series based on deep learning and behavioral patterns. IJM. 2024. 45(11), 5948–5966.
DOI: [10.1134/S1995080224606854](https://doi.org/10.1134/S1995080224606854)



Методы	Наборы данных										
	Группа А					Ср. ошибка	Группа Б				Ср. ошибка
	BAFU	Climate	MAREL	MeteoSwiss	Saaleane		Electricity	Madrid	Soccer	WalkRun	
BRITS	17(4)	52(2)	77(1)	52(2)	54(1)	50(1)	57(1)	35(2)	20(5)	68(4)	45(2)
GP-VAE	46(7)	15(1)	172(9)	129(14)	92(8)	91(6)	74(4)	73(7)	142(14)	123(5)	103(7)
M-RNN	88(14)	138(7)	161(7)	169(15)	140(15)	139(14)	180(16)	108(15)	164(16)	227(16)	170(15)
NAOMI	40(6)	76(6)	128(5)	88(12)	107.1(13)	88(5)	75(5)	49(5)	9(2)	134(7)	67(5)
SAITS	15.2(2)	57.8(5)	79(2-3)	65(3-4)	57(2-3)	54.4(4)	73(3)	45(3-4)	14(3)	49(2-3)	45.1(3)
Transformer	15(1)	57(4)	79(2-3)	65(3-4)	57(2-3)	54(3)	81(6)	45(3-4)	20(4)	49(2-3)	49(4)
SAETI	16(3)	53(3)	88(4)	52(1)	58(4)	53(2)	60(2)	31(1)	6(1)	42(1)	35(1)

Юртин А.А. Восстановление многомерных временных рядов на основе выявления поведенческих шаблонов и применения автоэнкодеров. Вестник ЮУрГУ, серия ВМИ. 2024. 13(2), 39–55.
DOI: [10.14529/cmse240203](https://doi.org/10.14529/cmse240203)

Наши модели детекции аномалий лучше аналогов

Модели DiSSiD и mDiSSiD опережают аналоги по точности

Методы Ряды	AE	Bagel	DeepAnT	IE-CAE	LSTM-AD	OceanWNN	OCSVM	TAnoGAN	DiSSiD (L1)	DiSSiD (MPdist)
SMD	0.0767 (6)	0.0559 (8)	0.0522 (9)	0.1297 (3)	0.0653 (7)	0.1075 (4)	0.0119 (10)	0.0965 (5)	0.1543 (2)	0.4889 (1)
OPP	0.1979 (5)	nan (10)	0.0605 (9)	0.9002 (1)	0.0650 (8)	0.4678 (4)	0.1795 (6)	0.8090 (2)	0.1222 (7)	0.5340 (3)
Daphnet	0.2160 (6)	0.2269 (5)	0.2573 (4)	0.3079 (3)	0.1711 (8)	0.1812 (7)	0.1388 (10)	0.1609 (9)	0.4124 (1)	0.3332 (2)
ECG-2 (803, 805)	0.7758 (2)	0.3302 (8)	0.3350 (7)	0.5234 (5)	0.2897 (10)	0.5544 (4)	0.3548 (6)	0.3002 (9)	0.7477 (3)	0.7801 (1)
ECG-2 (803, 806)	0.5589 (3)	0.1878 (10)	0.2346 (7)	0.5397 (4)	0.1934 (9)	0.2003 (8)	0.3069 (6)	0.4635 (5)	0.8008 (1)	0.7927 (2)
ECG-3 (803, 805, 806)	0.7651 (2)	0.2988 (7)	0.2906 (8)	0.4739 (4)	0.2330 (9)	0.3596 (5)	0.3315 (6)	0.1430 (10)	0.7505 (3)	0.8124 (1)
MITDB	0.0759 (8)	0.0833 (5)	0.0795 (7)	0.1713 (3)	0.0799 (6)	0.1058 (4)	0.0474 (10)	0.0714 (9)	0.3718 (1)	0.3544 (2)
IOPS	0.3720 (7)	0.2678 (8)	0.1834 (10)	0.9163 (1)	0.1595 (10)	0.9085 (4)	0.7533 (6)	0.9130 (2)	0.2464 (9)	0.7922 (5)
YAHOO	0.7238 (2)	0.4871 (8)	0.5659 (7)	0.7050 (3)	0.4478 (10)	0.6126 (5)	0.6639 (4)	0.4591 (9)	0.5961 (6)	0.7306 (1)
Средний VUS-PR	0.4181 (4)	0.2422 (8)	0.2288 (9)	0.5186 (2)	0.1894 (10)	0.3886 (5)	0.3098 (7)	0.3851 (6)	0.4669 (3)	0.6242 (1)
Средний ранг	4.56 (4)	7.67 (9)	7.56 (8)	2.56 (2)	8.56 (10)	5 (5)	7.11 (7)	6.67 (6)	3.67 (3)	2 (1)

Краева Я.А. Обнаружение аномалий временного ряда на основе технологий интеллектуального анализа данных и нейронных сетей.
Вестник ЮУрГУ, серия ВМИ. 2023. 12(3), 50–71. DOI: [10.14529/cmse230304](https://doi.org/10.14529/cmse230304)

Методы Ряды	AE	DeepAnT	LSTM-AD	TAnoGAN	mDiSSiD (L1)	mDiSSiD (L2)
OPP	0.4812 (2)	0.2105 (6)	0.2178 (5)	0.7632 (1)	0.4154 (4)	0.4273 (3)
Daphnet	0.3569 (4)	0.3817 (3)	0.2347 (5)	0.2105 (6)	0.4356 (2)	0.4632 (1)
MITDB-2	0.5181 (4)	0.4514 (5)	0.4153 (6)	0.5208 (3)	0.6467 (2)	0.6917 (1)
MITDB-3	0.4496 (3)	0.3189 (6)	0.3284 (5)	0.4265 (4)	0.5898 (2)	0.6250 (1)
Средний VUS-PR	0.4515 (4)	0.3406 (5)	0.2990 (6)	0.4803 (3)	0.5219 (2)	0.5518 (1)
Средний ранг	3.25 (4)	5.00 (5)	5.25 (6)	3.50 (3)	2.50 (2)	1.50 (1)

Краева Я.А. Нейросетевой метод обнаружения аномалий в многомерных потоковых временных рядах. Вестник ЮУрГУ, серия ВМИ. 2024. 13(4), 35–52. DOI: [10.14529/cmse240403](https://doi.org/10.14529/cmse240403)

Спасибо за внимание!

- **Параллельные алгоритмы и нейросетевые модели интеллектуального анализа временных рядов** (поиск аномалий и шаблонов, восстановление и прогноз и др.) могут быть применены в **цифровой индустрии** и др. областях
- **Научная группа:**



М.Л. Цымблер
д.ф.-м.н.,
профессор ВиртУм



Я.А. Краева
к.ф.-м.н.,
доцент ВиртУм



А.И. Гоглачев
преп-ль, аспирант каф. СП
лауреат конкурса
«Молодая наука ЮУрГУ»



А.А. Юртин
преп-ль, аспирант каф. СП
победитель конкурса
«УМНИК»



**Вы тоже можете
принять участие**



**Вы тоже можете
принять участие**