

Оптимизация работы ШГН за счет использования искусственного интеллекта в алгоритмах контроллеров WellSim



Нафтаматика

Основное направление деятельности компании – интеллектуальное управление глубинными насосами и мониторинг оборудования с целью предотвращения неисправностей и увеличения межремонтного интервала.

Нафтаматика предлагает комплекс из скважинных контроллеров WellSim и системы диспетчерского контроля и сбора данных NaftaSCADA.

Математический аппарат WellSim, использующий модель скважины для расчета технологических параметров и аналитические методы для определения общего состояния оборудования, также оснащен систем искусственного интеллекта «Цифровой технолог», проводящей анализ формы динамограммы методом распознавания образов.

«Цифровой технолог» обучен более чем на 20 000 реальных динамограмм, полученных с нефтяных промыслов, оснащенных оборудованием WellSim.



Well Sim®



info@naftamatika.com



[naftamatika](#)



naftamatika.com



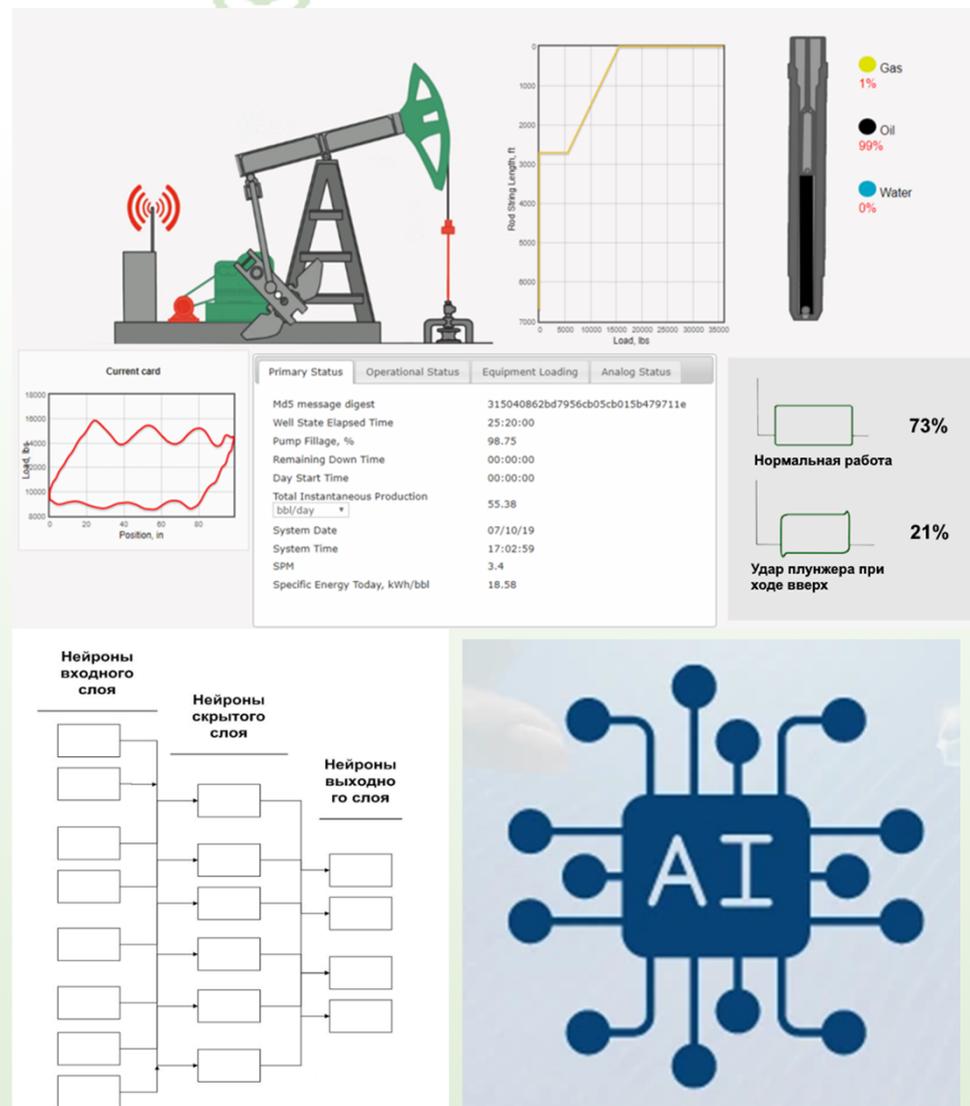
«Цифровой технолог»

Аналитические методы анализа динамограмм дают приемлемые результаты только в идеальных условиях, что встречается крайне редко.

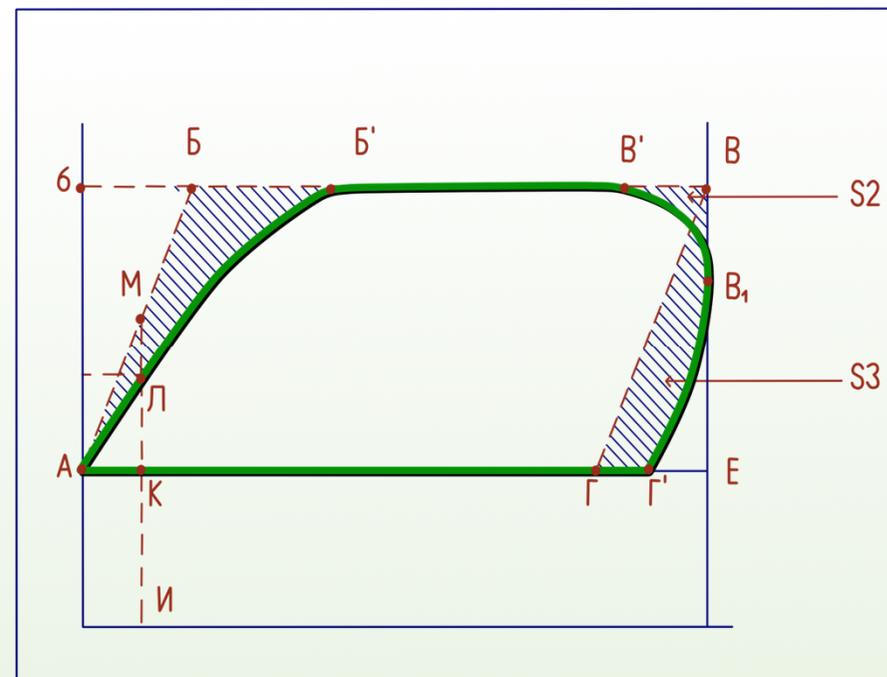
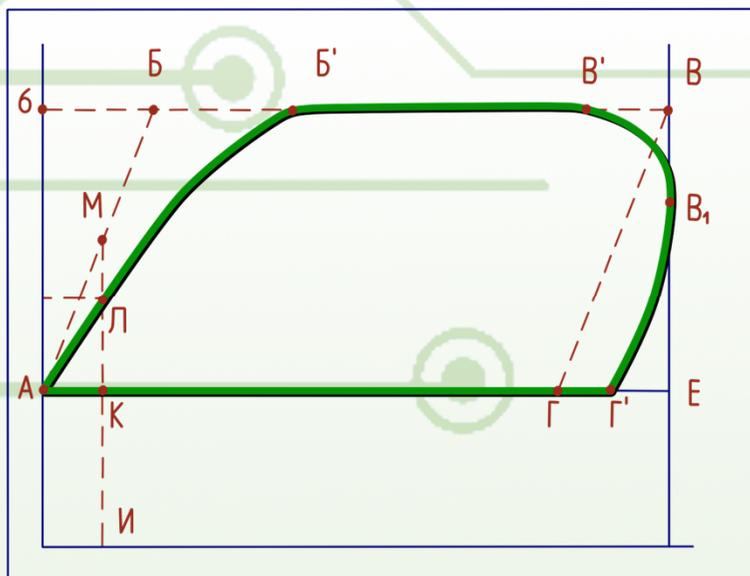
Опытный технолог способен по форме динамограммы с высокой точностью выявлять потенциальные проблемы и предпринимать меры по их устранению, избегая поломок и остановки скважины на капитальный ремонт.

«Цифровой технолог» заменяет реального специалиста, позволяя мониторить объект круглосуточно и без перерывов, своевременно сигнализируя о предпосылках к аварийной ситуации и снижая загруженность высококвалифицированных сотрудников.

В результате обучения на обширном наборе динамограмм, «Цифровой технолог» приобрел возможность различать накладывающиеся друг на друга дефекты, что не всегда возможно даже для высококлассного специалиста.



Аналитические методы

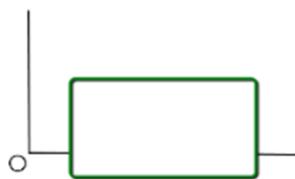


Аналитические методы распознавания дефекта предполагают использование различных математических моделей дефектов и сравнение с эталонной динамограммой. Для сравнения могут использоваться логические выражения, анализ характерных участков динамограммы или различные математические методы.

Ограничения такого подхода состоят в сложной формализуемости каждого дефекта и их сочетания вместе с огромным многообразием реальных динамограмм.



Распознавание дефектов



Идеальный случай



Движение НКТ



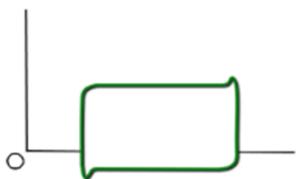
**Удар плунжера
о жидкость**



Влияние газа



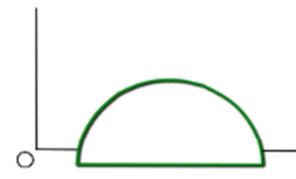
Обрыв штанг



Соударения плунжера



Залипание плунжера



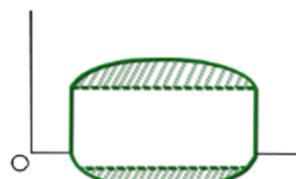
**Износ плунжера или
подвижного клапана**



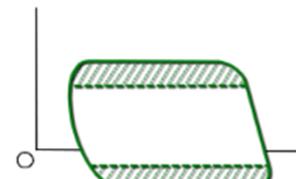
**Износ неподвижного
клапана**



**Изношенный или
треснувший насос**



Жидкостное трение



Сухое трение

Главным элементом WellSim является способность «Цифрового технолога» определять как отдельные дефекты, так и их интерференции при возникновении нескольких дефектов одновременно, определяя степень выраженности паттерна, сигнализируя оператору и выдавая рекомендации по предотвращению аварий.



Построение нейросети



Блок нейросети «Цифровой технолог» является дополнением и альтернативой аналитических алгоритмов, также применяемых в контроллере Wellsim. Он позволяет решить задачу диагностики, повысить точность расчетов и производить постоянный мониторинг состояния скважины.

Для обучения нейросети и оценки результатов было разработано специализированное ПО.



Структура нейросети

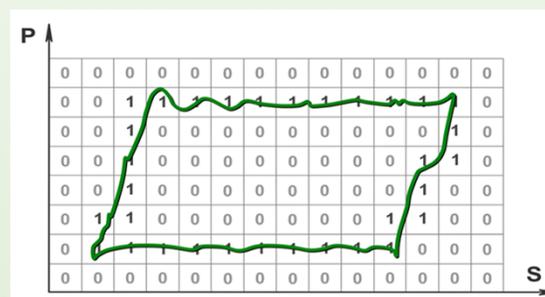
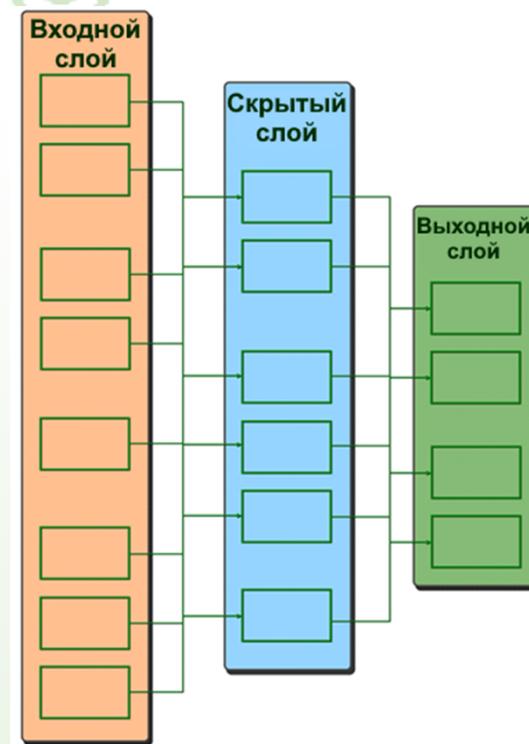
Для получения данных используется паттерный метод распознавания, который лежит в основе всех нейронных алгоритмов по работе с изображениями.

«Цифровой технолог» использует компактную трёхслойную нейросеть.

Размеры входного слоя определялись количеством точек динамограммы: 200 нейронов первого слоя, 28 нейронов скрытого слоя, и 16 нейронов выходного слоя.

Увеличенное число входных точек (200 вместо 112) имеет в основе принятое в компании представление данных динамограммы и дает лучшую детализацию.

16 нейронов выходного слоя соответствуют расширенной номенклатуре дефектов. Выбор количества нейронов промежуточного слоя диктуется требованиями оптимизации и как правило определяется экспертным методом из практических результатов обучения.



Заполнение насоса

Точное определение эффективной длины хода насоса ($S_э$) и точки открытия подвижного клапана для каждого цикла откачки – ключевой момент для определения заполнения насоса. Этот параметр определяет точность автоматических режимов работы и расчета технологических параметров.

Существует ряд ручных и полуавтоматических способов определения $S_э$, но автоматизация процесса с помощью искусственного интеллекта позволяет избежать ошибок и актуализировать это значение при каждом цикле откачки, что повышает точность, особенно для скважин с непостоянным поведением.

Экономический эффект достигается за счет точного управления скважиной по заполнению насоса, исключения человеческого фактора, эффективного мониторинга состояния скважины в режиме онлайн.

Прецизионное определение точек открытия и закрытия клапана позволяет WellSim достигать точности измерения дебита добытой жидкости, сравнимой с точностью измерительных приборов, выступая в качестве расходомера и увеличивая дебит, избегая срыва подачи.



Трение и жидкостная нагрузка

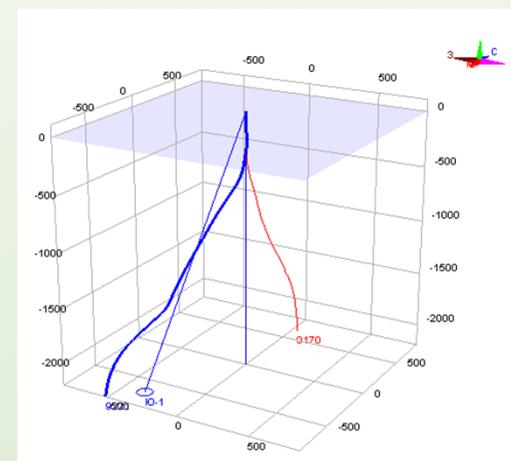
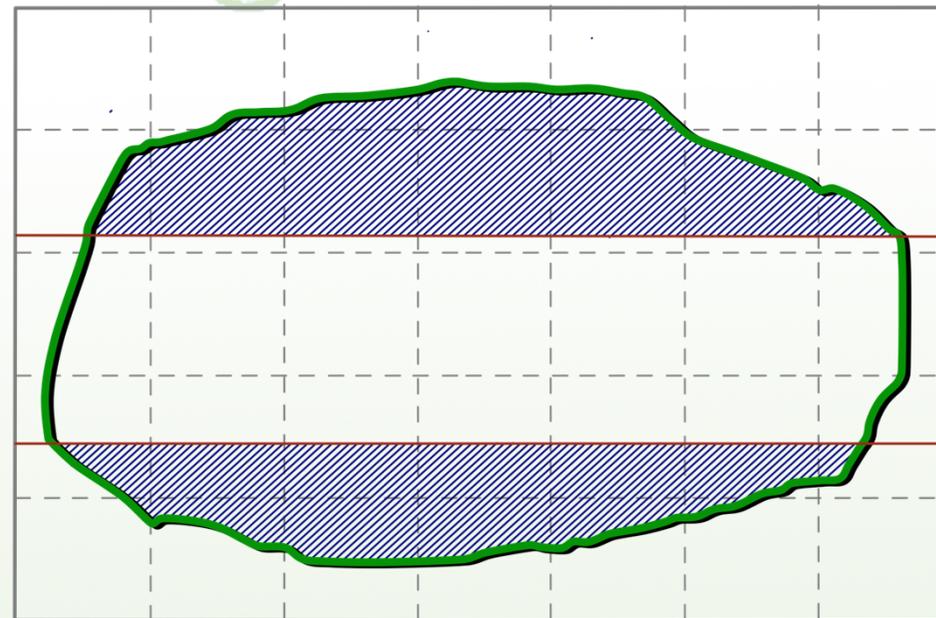
Трение, как сухое, так и жидкостное, имеет тенденцию изменяться в процессе эксплуатации скважины, внося погрешность в расчеты, повышая износ оборудования и приводя к заклиниваниям и обрывам.

Множество постоянно меняющихся параметров влияют на величину трения, делая его вычисление крайне сложной задачей, часто требующей дорогостоящих операций для решения.

Аналитическое решение этой задачи в реальных условиях затруднительно, поэтому более эффективным становится применение ИИ, обученного по форме ДМГ отделять составляющую трения от жидкостной нагрузки

Точное значение величины трения позволяет построить более качественную глубинную динамограмму, определить величину жидкостной нагрузки и оценить степень увеличения вязкости жидкости в насосе.

WellSim способен проводить эту операцию в режиме реального времени для каждого цикла откачки, обеспечивая оперативность, не требуя внимания технолога, отслеживая нагрузку на штанги, обеспечивая высокую точность вычисления технологических параметров и выдавая рекомендации.



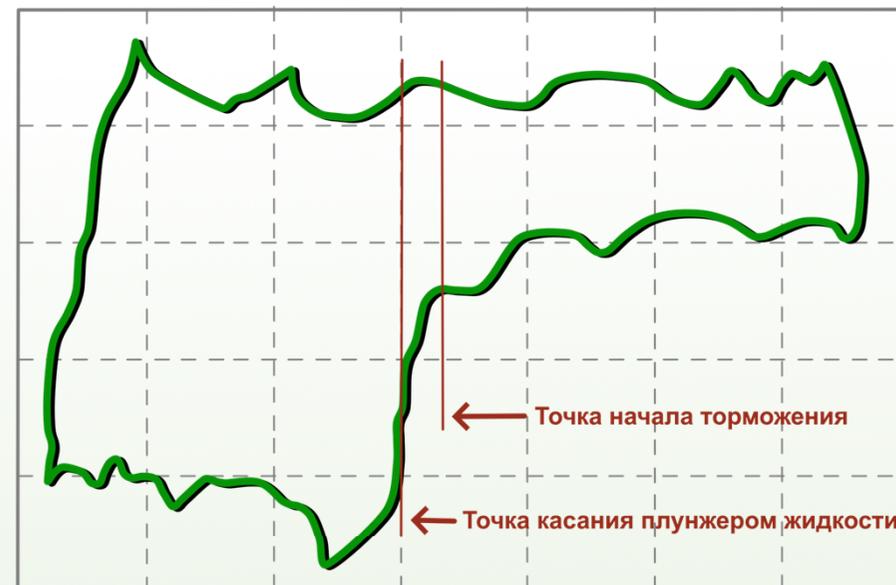
Компенсация удара плунжера о жидкость

подавляющее большинство скважин работают в режиме с неполным заполнением насоса, что создает условия для повышенного износа и ударных нагрузок на колонну насосных штанг.

Момент удара отчетливо виден на динамограмме, и, предполагая минимальные различия между предыдущей и текущей динамограммами, этот удар можно ослабить или практически полностью скомпенсировать, снизив перед этим моментом скорость вращения электродвигателя станка качалки.

WellSim способен точно распознавать момент удара по динамограмме и автоматически корректировать скорость движения штока на соответствующем участке хода, не влияя на скорость на участке эффективного хода штока.

Процесс, в том числе и с мягким ступенчатым торможением, может происходить автоматически или путем выдачи рекомендации оператору.



Speed decrease, Hz
1

Start Up Speed, Hz
50

Deadband +/-, %
3

Speed Change
Stroke Delay
1

Stroke Variable Speed

1	50	7	50
2	50	8	50
3	50	9	50
4	50	10	50
5	50	11	50
6	50	12	50

Transition Time, ms
1000

Available Brake Resistor

Default
Set
Set

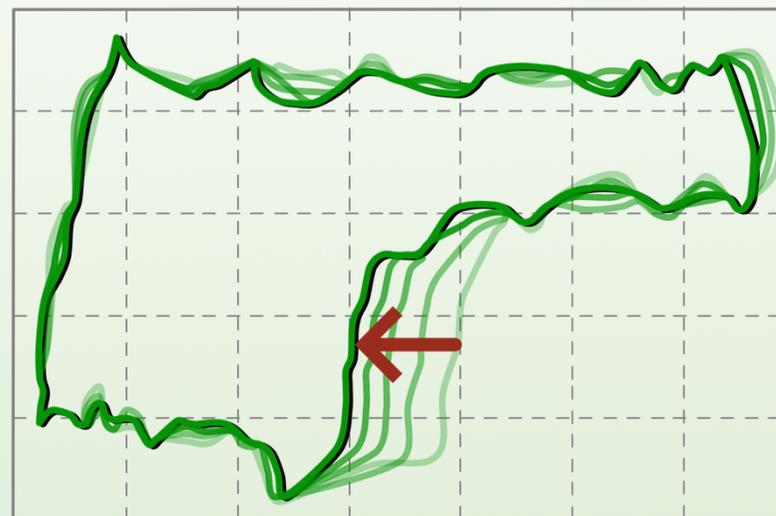
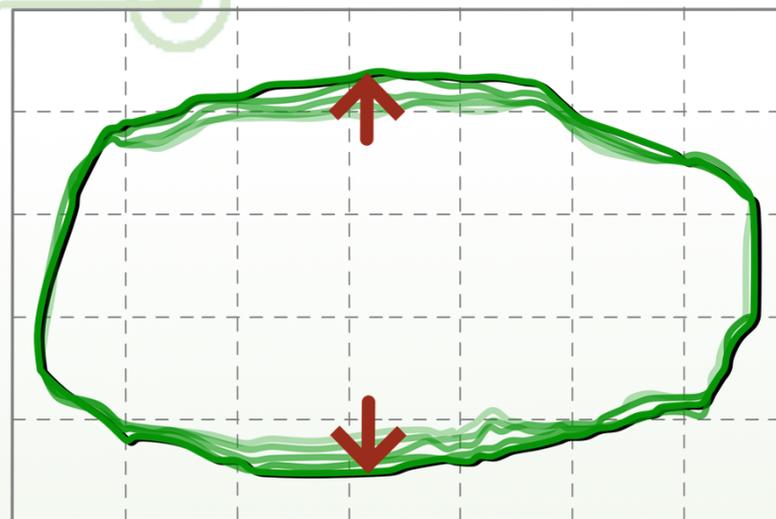
Тренды дефектов

Одиночная динамограмма дает представление о текущем состоянии скважины, но многие паттерны дефектов могут присутствовать долгое время без особого вреда для оборудования и не требуют немедленного вмешательства.

Для принятия решения о вмешательстве в работу, ремонте, замене оборудования на скважине или ее консервации, необходимо рассматривать динамику изменения динамограмм за продолжительный промежуток времени.

Некоторые дефекты, например те, что вызывают трение металла о металл, удары или вязкое трение, могут возникать и прогрессировать довольно быстро и при этом устраняться довольно просто (регулировкой числа качаний, длины хода штока, и добавлением реагентов соответственно), потому что постоянный мониторинг за скважинами позволяет избегать аварий и дорогостоящего ремонта с подъемом глубинного оборудования.

В контроллерах WellSim тренды анализируются вплоть до 180 дней, позволяя отслеживать и анализировать дефекты в долгосрочной перспективе.



Опыт применения ИИ WellSim

Наиболее показательным примером применения WellSim и системы ИИ «Цифровой технолог» является создание «цифрового месторождения» на объектах «Речицанефть» с оснащением более 700 объектов высокотехнологичным, производительным оборудованием.

По результатам эксплуатации:

- Увеличился межремонтный интервал и повысился коэффициент эксплуатации оборудования с минимизацией простоя оборудования
- Точность определения точки открытия клапана и распознавания неисправностей до 96%
- Обеспечен высокоскоростной доступ к объектам для сбора данных с помощью NaftaSCADA и передачи их системе верхнего уровня для их анализа и принятия решений

Из отзыва от ПАО «Беларуснефть»:

«В 2023 году мы не только выполнили план по добыче нефти, но и перевыполнили его на 26 000 кубометров ... получили одну из минимальных цифр по ОТП(потерь за счет простоя фонда).»



БЕЛОРУСНЕФТЬ

