

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ И АВАРИЙ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

Щербаков Р.Э., Ковалев А.В.

Научный руководитель доцент А.В. Ковалев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

С каждым годом истощение легкодоступных запасов углеводородов определяет необходимость разработки месторождений, характеризующихся сложными горно-геологическими условиями. Строительство скважин в данных условиях часто сопровождается различными осложнениями и авариями. Повышенные риски при строительстве скважин обусловлены усложнением конструкции скважины, траекторией ствола, а также горно-геологическими условиями.

Прихват бурильной или обсадной колонны является одной из самых сложных аварий, которая оказывает существенное влияние на эффективность бурения и стоимость скважины. Зачастую при возникновении аварии с прихватом бурильной или обсадной колонны, требуется проведение дорогостоящих мероприятий по ликвидации последствий аварии, поэтому различные отраслевые оценки, утверждающие, что стоимость проведения мероприятий по ликвидации последствий прихвата бурильного инструмента может превышать несколько сотен миллионов долларов в год, не являются надуманными [4].

Понимание механизмов возникновения прихвата и его признаков помогает на ранней стадии реализовывать мероприятия по снижению последствий надвигающейся аварии. Традиционно признаки прихвата определяются по параметрам бурения, регистрируемым станцией геолого-технологических исследований (ГТИ). Характерными признаками дифференциального прихвата являются увеличение сопротивления продольному перемещению, повышение крутящего момента при срагивании колонны после пребывания без движения. В том случае, если помимо вышеуказанных признаков отмечается повышение давления на стояке, то можно говорить о вероятности возникновения механического прихвата [3].

Зачастую признаки предстоящего прихвата не обнаруживаются достаточно заблаговременно для проведения эффективных мероприятий по смягчению последствий предстоящей аварии. В основном это происходит в результате особенностей человеческого восприятия. Кроме того, признаки предстоящей аварии не распознаются заблаговременно в результате суточной смены рабочего персонала (членов буровой бригады, инженерного состава на буровой площадке и в оперативном офисе), поэтому по статистике большинство аварий происходит в течение нескольких часов после «пересменки» [4].

Внедрение машинного обучения в анализ изменения параметров бурения становится все более популярным по вышеуказанным причинам. Различные алгоритмы машинного обучения предлагают автоматизированные решения для преодоления этих ограничений, что позволяет адаптировать человеческие знания.

Одной из первых зарубежных публикаций, в которой использовались статистические методы для прогнозирования вероятности возникновения прихвата колонны, была работа Хемпкинса и др. [6]. Советскими учеными также разрабатывались статистические методы, в частности метод последовательной диагностической процедуры [2]. Современные подходы к раннему определению признаков прихватов описаны в работе [1,7]:

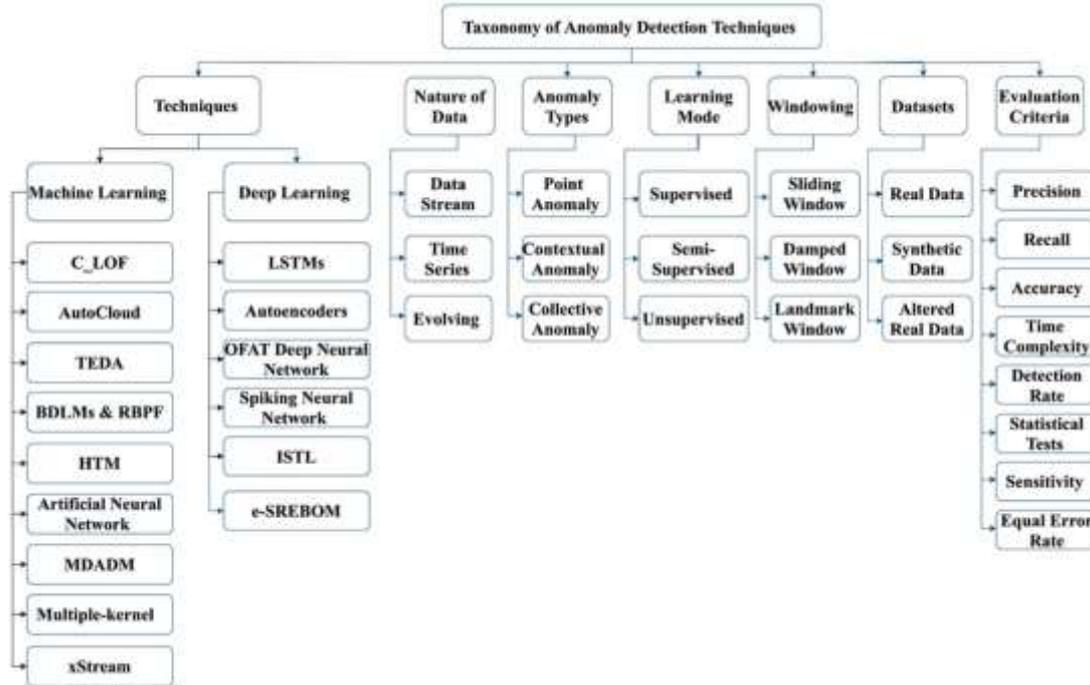
- статистический анализ многомерных временных рядов;
- логистической регрессии;
- нейронной сети;
- метода опорных векторов.

В упомянутых ранее статистических методах использовались базы данных, хранящие большое количество скважин. Эти статистические методы обычно использовали суточные отчеты о бурении, отчеты об окончании скважины и другую информацию, которая отражает одно измерение в день для параметров, используемых для прогнозирования прихвата. Входные данные включали информацию о траектории ствола скважины, данные о свойствах бурового раствора, параметры режима бурения [7].

Фундаментальным ограничением применения этого подхода к прогнозированию прихвата в реальном времени является то, что условия, приводящие к прихвату, часто возникают в течение нескольких десятков минут или часов. Поэтому требуются более высокая частота обновления данных, нежели чем в суточных отчетах о бурении и отчетах об окончании скважины. Кроме того, использование свойств бурового раствора оправдано, но они недостаточно часто измеряются на большинстве буровых установок, чтобы обеспечить время срабатывания, необходимое для предотвращения предстоящей аварии. Были разработаны системы для непрерывного измерения основных свойств бурового раствора на буровой площадке, но в настоящий момент они не получили широкого распространения [8].

В случае использования подхода к обнаружению прихвата при помощи алгоритмов обучения «с учителем» возникает проблема разметки обучающей выборки, поскольку требуется предварительный сбор информации для обучения алгоритма, проверка качества входных данных, предобработка данных, ручная разметка (выделение интервалов с признаками предстоящей аварии). В случае изменения распределения параметров бурения при использовании модели в условиях другого месторождения, требуется повторное обучение модели на новых предобработанных данных и оценка ее работы в условиях реального бурения.

Стоит отметить, что в соответствии с анализом различных инцидентов, связанных с прихватом бурильного инструмента, можно утверждать, что во всех случаях не было единого опережающего признака предстоящей аварии, поэтому требуется разработать алгоритм, комплексно анализирующий различные параметры бурения. Для задач выявления аномалий во временных рядах используется огромное множество различных алгоритмов (рис.) [5].



**Рис. Систематизация алгоритмов машинного обучения, методов и критериев оценки качества выявления аномалий во временных рядах**

Как уже упоминалось ранее, при обучении «с учителем» существует проблема сбора и разметки обучающей выборки. Для решения данной проблемы предлагается реализовать систему автоматического обнаружения аварий и осложнений в процессе бурения на основе метода обучения «без учителя», данный подход позволит сократить временные и материальные затраты на подготовку и обучение модели. Кроме того, стоит отметить, что обучение модели в реальном времени, позволило бы использовать ее в процессе бурения скважины и не тяготеть к наличию всего набор данных параметров бурения до начала бурения.

#### Литература

1. Липатов Е.Ю. Исследование и разработка технологии и технических средств для предупреждения и ликвидации прихвата бурильной колонны (на примере месторождений Среднего Приобья): моногр. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2019. – 128 с.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Аветисов А.Г., Булатов А.И. Методические указания по применению статистических методов в бурении нефтяных и газовых скважин. – Краснодар: ВНИИКРнефть, 1983. – 316 с.
3. Митчелл Дж., Безаварийное бурение / Дж. Митчелл – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. - 364 с.
4. Ahmed Omogbolahan S, Aman Beshir M, Zahrani Majed A., Folorunsho I. Ajikobi Stuck Pipe Early Warning System Utilizing Moving Window Machine Learning Approach // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. – Abu Dhabi, UAE, 2019. doi: <https://doi.org/10.2118/197674-MS> (дата обращения 24.03.2022).
5. A Review of Machine Learning and Deep Learning Techniques for Anomaly Detection in IoT Data / Al-amri Redhwan, Raja K. Murugesan, Mustafa Man, Alaa F. Abdulateef, Mohammed A. Al-Sharafi, Ammar A. Alkahtani // Applied Sciences. – 2021. – V. 12. <https://doi.org/10.3390/app11125320> (дата обращения 24.03.2022).
6. Hemphkins, W.B., Kingsborough, R.H., Lohec, W.E., and C.J. Nini. "Multivariate Statistical Analysis of Stuck Drillpipe Situations." SPE Drill Eng 2 (1987): 237–244. doi: <https://doi.org/10.2118/14181-PA>.
7. Stuck-Pipe Prediction by Use of Automated Real-Time Modeling and Data Analysis / Salminen Kent, Cheatham Curtis, Smith Mark, Khaydar Valiullin // SPE Drilling & Completion. – 2017. – V. 32. – P. 184–193. doi: <https://doi.org/10.2118/178888-PA> (дата обращения 24.03.2022).
8. Vajargah Ali Karimi, Sullivan Gregory, Eric van Oort Automated Fluid Rheology and ECD Management // SPE Deepwater Drilling and Completions Conference. – Galveston, USA, 2016. doi: <https://doi.org/10.2118/180331-MS> (дата обращения 24.03.2022).