

**А.Г. Шумихин, И.В. Александров, В.Г. Плехов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННЫХ НАСОСОВ ПО ДИНАМОГРАММАМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПРЕЦЕДЕНТОВ**

*Рассмотрены алгоритмы применения метода прецедентов производственных ситуаций в задаче диагностики технического состояния штанговых глубинных насосов (ШГН). Приведено описание автоматизированной системы (АС) диагностики технического состояния ШГН, реализующей метод прецедентов. Представлены результаты тестирования различных показателей сравнения динамограмм ШГН, представленных в базе знаний АС в качестве прецедентов с динамограммами, выступающими при тестировании в качестве диагностируемых.*

На большом количестве добывающих нефтяных скважинах устанавливаются штанговые глубинные насосы (ШГН). Это объясняется экономичностью и широкими возможностями применения данной системы. К основным преимуществам ШГН можно отнести независимость от наземных систем, технически несложный монтаж, разнообразие видов ШГН, возможность адаптации к изменяющимся условиям добычи и т.д. К основным недостаткам относятся высокий износ насосных штанг и насосно-компрессорных труб, трудоемкость операций по замене глубинных насосов. Во многих случаях заблаговременное распознавание неисправностей и профилактический ремонт позволяют избежать крупных дефектов и связанных с ними больших затрат.

Постоянная диагностика состояния ШГН позволяет уменьшить затраты на обслуживание, сократить число производственных неполадок и расходов на добычу. Основную информацию о работе ШГН можно получить с помощью динамограммы – графика зависимости нагрузки на полированный штоке ШГН от его положения. Такая зависимость является результатом сложного взаимодействия многих факторов и при

одних и тех же внешних условиях работы насоса, графики динамограмм могут иметь различный вид, который зависит от режима работы и от наличия какой-либо неисправности в работе ШГН. Сопоставление снятой динамограммы с динамограммой, отражающей нормальную работу насоса, позволяет выявить отклонения в работе установки в целом и дефекты в работе самого ШГН [1].

Существуют различные методики диагностики состояния ШГН по динамограмме. В статье представлено применение с этой целью одного из развивающихся методов искусственного интеллекта – метода вывода по прецедентам или случаям (далее CBR – Case-based reasoning).

В большинстве энциклопедических источников [2–4] прецедент определяется как случай, имевший место ранее и служащий примером или оправданием для последующих случаев подобного рода, а рассуждение на основе прецедентов CBR является подходом, позволяющим решить новую, неизвестную задачу, используя или адаптируя решение уже известной задачи.

CBR-методы базируются на простом тезисе, что подобные задачи (проблемы) решаются подобным образом. В настоящее время CBR-методы стали активно применяться в таких областях, как медицинская диагностика, юриспруденция, мониторинг и диагностика технических систем, поиск решения в проблемных ситуациях и т.д. Цикл распознавания методов прецедентов представлен на рис. 1 [4].

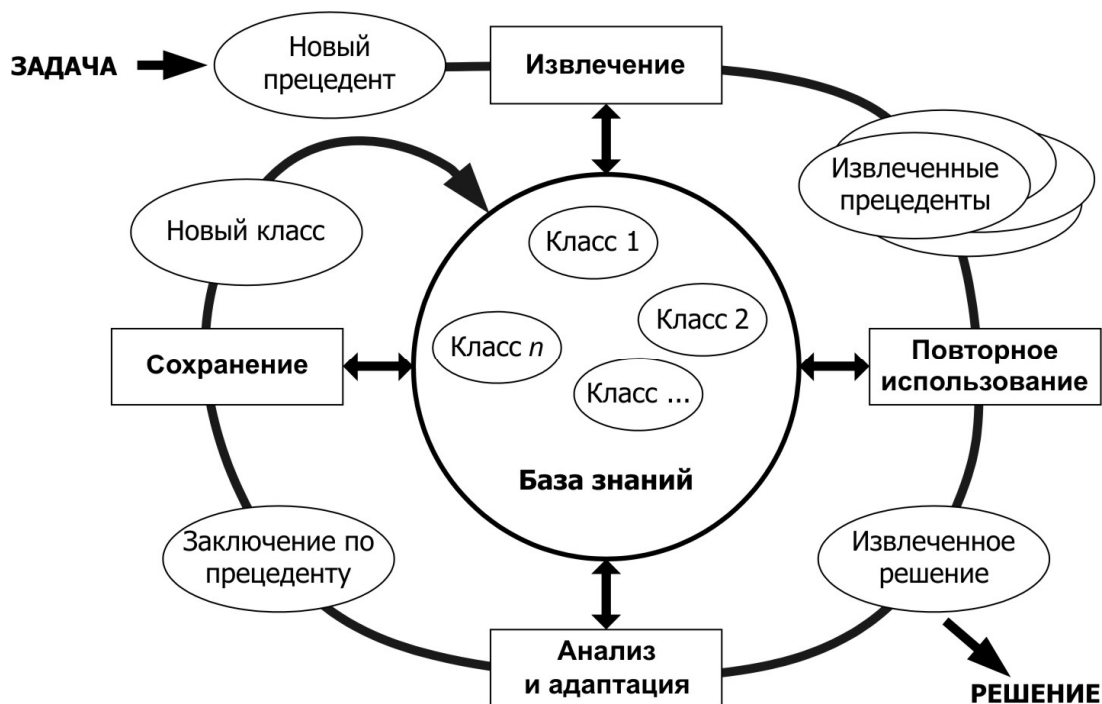


Рис. 1. Цикл рассуждений на основе прецедентов

Основными этапами CBR-цикла АС диагностики ШГН являются:

- ◆ извлечение прецедентов от каждого класса из базы знаний (БЗ) и выбор по вычисляемому параметру наиболее близкого прецедента для новой динамограммы;
- ◆ повторное использование: присвоение новому прецеденту решения, которое соответствует наиболее близкому прецеденту из БЗ, если для новой динамограммы нет подходящего прецедента в БЗ (параметр превышает пороговое значение), то этот новый прецедент отправляется для анализа инженеру-технологу средствами SCADA системы, корпоративной электронной почты предприятия и т.п.;
- ◆ анализ, адаптация и присвоение заключения для новой динамограммы инженером-технологом;
- ◆ сохранение нового прецедента и соответствующего ему заключения и создание нового класса динамограмм в БЗ на основе этого прецедента или отнесение динамограммы к одному из уже существующих классов или отнесение динамограммы к группе недостоверных динамограмм.

Применение метода прецедентов производственных ситуаций связано с получением, хранением и обработкой значительных массивов информации, образующиеся в задачах, в частности, диагностики технического состояния технологического оборудования. Поэтому эффективная реализация метода возможна лишь в составе задач, решаемых в АС контроля и управления, как подсистемы.

*Реализация в АС алгоритма применения метода прецедентов производственных ситуаций.* Объектом для разработки и реализации алгоритма применения метода прецедентов в АС диагностики технического состояния ШГН выбрана скважина № 292 одного из действующих кустов крупного нефтедобывающего предприятия. Динамограммы с этой скважины поступают раз в 4 ч в систему управления базами данных (СУБД) MS SQL Server и хранятся на сервере в виде таблицы. На момент реализации алгоритма в базе данных (БД) хранилось 1047 динамограмм.

Для внедрения метода прецедентов в существующее программное обеспечение решены следующие задачи:

- ◆ выделение из БД динамограмм, которые будут служить прецедентами (эталоны) в АС;
- ◆ выбор методики, параметров, по которым следует производить сравнение прецедентов (динамограмм);
- ◆ реализация и тестирование алгоритма средствами MS SQL Server.

Графическим способом выделены 8 классов динамограмм и выбраны 8 прецедентов, наиболее характерных для каждого из выделенных классов (рис. 2). Количество точек в динамограммах варьируется от 301 до 364. Для удобства дальнейшей обработки в каждой динамограмме по оси абсцисс (ход штока) выбирается 200 точек, и находятся соответствующие им значения по оси ординат (нагрузка на шток) методом интерполяции.

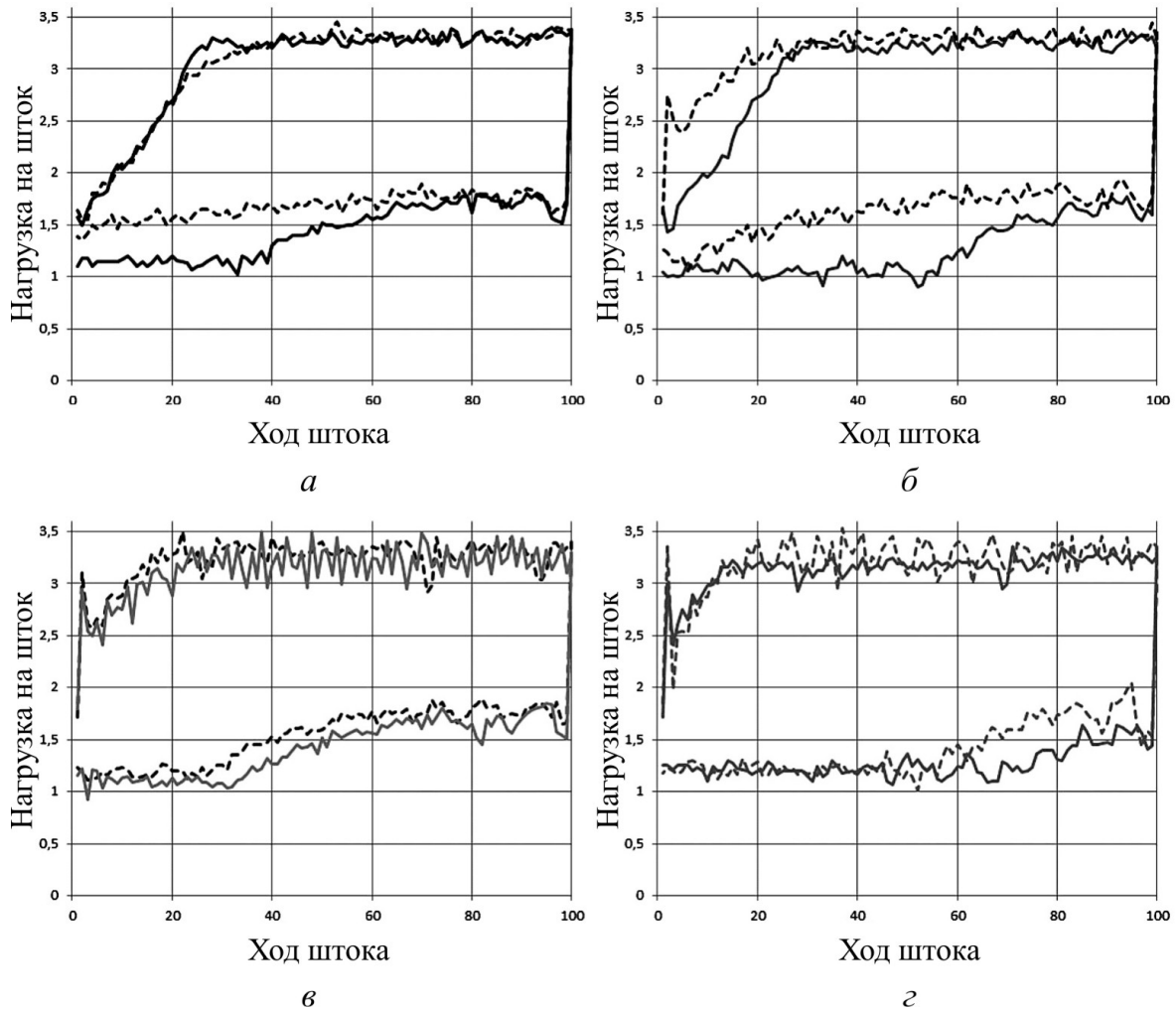


Рис. 2. Прецеденты 8 выделенных классов из накопленной БД (состояние ШГН № 1, 2 (а), № 3, 4 (б), № 5, 6 (в), № 7, 8 (г))

Существует два класса методик диагностики состояния ШГН по динамограмме: распознавание образов практических динамограмм, основанное на сравнении с эталоном; и определение неисправности исходя из физических законов получения динамограммы ненормальной работы насоса. Первый класс методик, в свою очередь, подразделяется на четыре вида в соответствии с методами выделения признаков неисправности:

- 1) матричное представление практической динамограммы;
- 2) вычисление признаков Фурье из практической динамограммы;
- 3) отклонение практической динамограммы от эталонной;
- 4) выделение релевантных точек на практической динамограмме [5].

В работе [5] рассмотрены методы первого класса и показано, что лучшие результаты показывает метод, основанный на отклонении динамограммы от эталонной. Для этого метода подобраны 4 показателя (среднеарифметическая, среднеквадратичная, среднеарифметическая относительная и среднеквадратичная относительная ошибка нагрузки на шток), по значению которых можно судить об отклонении новой динамограммы от выделенных прецедентов (эталонов) и по минимальному значению которых выбирается прецедент  $S_p$  по правилу:

- ◆ для минимума среднеарифметической ошибки нагрузки на шток

$$\min_k \left| \sum_{i=1}^n |y_i^k - y_i^*| / k \rightarrow S_p; \quad k = \overline{1, l}; \quad (1)$$

- ◆ для минимума среднеквадратичной ошибки нагрузки на шток

$$\min_k \left( \sum_{i=1}^n |y_i^k - y_i^*|^2 \right)^{0,5} \rightarrow S_p; \quad k = \overline{1, l}; \quad (2)$$

- ◆ для минимума среднеарифметической относительной ошибки нагрузки на шток

$$\min_k \left| \sum_{i=1}^n \left( \frac{|y_i^k - y_i^*|}{y_i^k} \right) / k \rightarrow S_p; \quad k = \overline{1, l}; \quad (3)$$

- ◆ для минимума среднеквадратичной относительной ошибки нагрузки на шток

$$\min_k \left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{|y_i^k - y_i^*|}{y_i^k} \right)^2 \right)^{0,5} \rightarrow S_p; \quad k = \overline{1, l}. \quad (4)$$

В выражениях (1)–(4) обозначено:  $S_p$  – выбранный прецедент;  $y_i^k$  и  $y_i^*$  – значение нагрузки на шток прецедента из БЗ и новой динамограммы;  $i$  – номер точки динамограммы,  $i = \overline{1, n}$ ;  $k$  – номер класса, которому принадлежит сравниваемый прецедент,  $k = \overline{1, l}$ .

В таблице представлены результаты тестирования алгоритма метода прецедентов. Тестирование проводилось на 1039 динамограммах из накопленной БД. Процент правильного распознавания считался как отношение правильных ответов к общему числу динамограмм, принадлежащих к этому классу состояния ШГН.

#### Результаты тестирования алгоритма метода прецедентов

Класс из БЗ прецедентов (состояния ШГН)	Количество правильных ответов, %			
	Среднеарифметическая ошибка, %	Среднеквадратичная ошибка, %	Среднеарифметическая относительная ошибка, %	Среднеквадратичная относительная ошибка, %
№ 1	100,00	100,00	100,00	100,00
№ 2	100,00	100,00	100,00	100,00
№ 3	100,00	100,00	100,00	100,00
№ 4	88,75	75,00	94,33	92,50
№ 5	92,20	88,98	97,50	97,77
№ 6	74,32	87,84	92,57	87,16
№ 7	87,88	84,85	95,46	96,97
№ 8	83,33	83,33	83,33	83,33
Всего	89,22	87,68	96,34	95,77

Для распознавания динамограмм можно использовать как один из показателей, так и их комбинации.

Результаты тестирования свидетельствуют об удовлетворительной работоспособности метода прецедентов и возможности его применения в реальных производственных условиях.

Рассмотренный подход на основе метода прецедентов производственных ситуаций в составе АС диагностики технического состояния ШГН реализуется следующим образом.

Динамограмма снимается несколько раз в сутки и передается в автоматизированную систему диагностики состояния ШГН, затем она сравнивается с динамограммами (прецедентами) из базы знаний. При совпадении новой динамограммы и прецедента, ей присваивается аналогичный вывод, сделанный ранее при анализе прецедента инженером-технологом, не привлекая его снова.

Для работы АС база данных с динамограммами классифицируется и для каждого класса выделяется динамограмма, наиболее характерная для этого класса, которая будет служить прецедентом (эталон) в АС диагностики состояния ШГН. Выделенные прецеденты анализируются инженером-технологом, и каждому классу присваивается за-

ключение (нормальный режим работы, пропуски в нагнетательной части, отложения парафина и т.п.). В каждом классе устанавливается пороговое значение параметра, признака, задаваемое инженером-технологом, превышение которого означает недостаточное сходство новой динамограммы с эталоном.

Новая динамограмма сравнивается с прецедентом из каждого класса БЗ и выбирается наиболее близкий прецедент с помощью вычисляемого параметра. Если этот параметр не превышает заданное пороговое значение выбранного прецедента, то новой динамограмме присваивается заключение соответствующее выбранному классу. А если в АС приходит новая динамограмма, для которой нет соответствующего прецедента в БЗ (параметр самого близкого прецедента выше порогового значения) или накопленной БЗ нет вообще (ввод в эксплуатацию нового оборудования), то АС работает по схеме, представленной на рис. 1. Такая схема позволяет АС диагностики ШГН обучаться и адаптироваться к меняющимся условиям работы добывающего оборудования.

Предложенная АС диагностики технического состояния ШГН предназначена для оперативного контроля и своевременной выдачи информации оператору и инженеру-технологу о конкретной технической неисправности в работе ШГН и установки в целом, что позволит избежать критических, аварийных ситуаций и дорогостоящих устранений их последствий. АС диагностики технического состояния ШГН позволяет освободить дополнительное время для оперативного персонала и освободить инженера-технолога от рутинной ежемесячной работы по анализу накопившихся динамограмм по всем скважинам цеха.

### **Список литературы**

1. Ришмюллер Г., Майер Х. Добыча нефти глубинными штанговыми насосами: пособие. – Терниц: Изд-во Шеллер-Блекман ГмбХ, 1988. – 150 с.
2. Шумихин А.Г., Дадиомов Р.Ю. Алгоритм поиска прецедентов производственных ситуаций в базе знаний // ММТТ–2002: сб. тр. междунар. науч. конф. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2002. – Т. 5.
3. Шумихин А.Г., Плехов В.Г. Базы знаний с прецедентами ситуаций в алгоритмах управления технологическими процессами //

ММТТ–2002: сб. тр. междунар. науч. конф. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2002. – Т. 5.

4. Варшавский П.Р. Применение методов правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов в системах искусственного интеллекта [Электронный ресурс]. – URL: [www.raai.org/resurs/papers/kolonna2009/doklad/Varshavsky.doc](http://www.raai.org/resurs/papers/kolonna2009/doklad/Varshavsky.doc).

5. Мансафов Р.Ю. Новый подход к диагностике работы УСШН по динамограмме // Инженерная практика: произв.-техн. нефтегаз. журн. – 2010. – Вып. 9.

Получено 20.06.2012