



УДК 622.24

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ

### THE EXPERT SYSTEM FOR THE SELECTION OF THE EFFICIENT TYPE OF HYDRAULIC DOWNHOLE MOTOR FOR DRILLING

**Симонянц Сергей Липаритович**

доктор технических наук,  
профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин,  
Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет)  
имени И.М. Губкина  
ssturbo@mail.ru

**Гуринович Алёна Владимировна**

аспирант кафедры бурения нефтяных и газовых скважин,  
Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет)  
имени И.М. Губкина  
for\_alena@yahoo.com

**Аннотация.** Рассматривается проблема выбора рационального типа гидравлического забойного двигателя для заданных геолого-технических условий с целью обеспечения высоких технико-экономических показателей бурения. Данная задача может быть решена разработкой и внедрением консультирующей экспертной системы, выполняющей функции специалиста-эксперта. В статье описаны основные компоненты и функции экспертных систем – активно развивающейся области технологий искусственного интеллекта. Исследуются преимущества и недостатки их использования, особенности разработки и применения.

**Ключевые слова:** гидравлический забойный двигатель, бурение, информационные технологии, экспертные системы, искусственный интеллект.

**Simonyants Sergey Liparitovich**

Doctor of technical science,  
Professor of drilling oil  
and gas wells department,  
National University of Oil  
and Gas «Gubkin University»  
ssturbo@mail.ru

**Gurinovich Alyona Vladimirovna**

Postgraduate student of drilling oil  
and gas wells department,  
National University of Oil  
and Gas «Gubkin University»  
for\_alena@yahoo.com

**Annotation.** The article deals with the problem of selection of the most suitable and efficient type of hydraulic downhole motor depending on given geological conditions and technological issues in order to ensure high technical and economic drilling performance. This can be done by the introduction of an expert consulting system that performs the functions of an expert. The article describes the main components and functions of expert systems which make a rapidly-developing field of artificial intelligence technologies. The authors investigate the advantages and disadvantages of expert systems, as well as the distinctive features of their development and usage.

**Keywords:** hydraulic downhole motor, drilling, information technology, expert systems, artificial intelligence.

При разработке проектов на строительство нефтегазовых скважин и программ бурения (ГЗД), который является не только силовым приводом бурового долота, но и важной частью компоновки низа бурильной колонны (КНБК), определяющей параметры режима бурения и траекторию проводки скважины [5]. На российском рынке бурового оборудования представлены десятки типоразмеров турбобуров и винтовых забойных двигателей, как отечественных, так и зарубежных производителей. Однако в каждом конкретном случае для обеспечения высоких технико-экономических показателей бурения следует выбирать наиболее рациональный тип ГЗД, подходящий для заданных геолого-технических условий.

При выборе рационального типа ГЗД важно соблюдение следующих основных требований:

- Императивное требование состоит в том, что гидравлический забойный двигатель должен обеспечивать качество, эффективность и безопасность процесса бурения скважины.
- Тип и номинальный размер (наружный диаметр корпуса) ГЗД должны соответствовать типоразмеру применяемого породоразрушающего инструмента.
- Рабочие параметры энергетической характеристики ГЗД должны соответствовать параметрам режима бурения заданного интервала скважины. Энергетическая характеристика ГЗД должна обеспечивать работу бурового долота при оптимальной или близкой к ней частоте вращения, иметь достаточный запас крутящего момента для реализации регламентированной величины осевой нагрузки на долото и минимальный перепад давления.



- Конструкция ГЗД должна в максимальной степени способствовать бурению ствола скважины по заданной траектории с целью реализации ее проектного профиля. При необходимости ГЗД должен оснащаться узлом искривления с регулируемым углом перекоса осей, а также предусматривать установку корпусных центрирующих устройств.

- Надежность конструкции ГЗД должна обеспечивать наработку на отказ не менее нормированного (согласованного между арендатором и арендодателем забойного двигателя) срока эксплуатации ГЗД при работе в скважине, включая время углубления, промывок и проработок ствола. Энергетические параметры ГЗД не должны существенно изменяться в течение нормированного срока его эксплуатации.

- Применение ГЗД не должно явиться причиной возникновения осложнений и аварий при бурении. Форсирование параметров режима бурения разрешается в пределах установленных ограничений. Конструкция ГЗД должна быть оснащена противоаварийными приспособлениями и допускать использование, при необходимости, стандартного ловильного инструмента.

Выбор гидравлического забойного двигателя для бурения производится на стадии проектирования строительства скважины. При этом используется техническая и технологическая информация о характеристиках ГЗД, долот, буровых насосов, составе КНБК, а также статистические данные обработки долот и ГЗД в идентичных горно-геологических условиях [5, 6]. Решение о выборе конкретной конструкции забойного двигателя принимается проектировщиком на основе анализа указанной информации с учетом стоимостных факторов. Обоснованность выбора существенно зависит от полноты информации и правильности используемого алгоритма, который должен учитывать различные конструктивные и энергетические параметры существующих ГЗД, технические и технологические характеристики долот, буровых насосов и другого оборудования. В современном мире такие задачи успешнее всего решаются применением компьютерных систем.

В 1960-х годах в исследованиях по искусственному интеллекту сформировалось, а в 1980-х широко распространилось самостоятельное направление, получившее название *экспертные системы* [1, 2, 3]. Основным назначением экспертных систем (ЭС) является разработка программных средств, которые при решении задач, трудных для человека, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, полученным специалистом-профессионалом. Экспертная система – это компьютерная система, которая содержит базы знаний в некоторой узкой предметной области, имеет средства доступа к этим знаниям и оперирования ими. Экспертные системы по праву стали первыми интеллектуальными системами, и до сих пор основным критерием интеллектуальности является наличие механизмов работы со знаниями [7].

Экспертные системы применяют в различных сферах, где требуется принятие управленческих и других решений. В частности, их используют в медицине, финансах, нефтяной и газовой промышленности, энергетике, горном деле, фармацевтической промышленности, металлургии, машиностроении, на транспорте и во многих других областях.

Экспертные системы имеют некоторые общие характерные черты [2]:

- наличие четко ограниченной предметной области, для которой предназначена конкретная ЭС;
- возможность принятия решений в условиях неопределенности: для этого применяются специальные методы и компьютерные алгоритмы;
- способность объяснять мотивы и результат принимаемого решения с использованием соответствующего профессионального языка (специалистам, не являющимся экспертами, достаточно легко общаться и работать с экспертной системой);
- четкое разделение фактов и выводов;
- возможность постоянного пополнения базы знаний и наращивания системы, а также ее обучения в процессе эксплуатации;
- вывод результата в форме рекомендаций с перечнем конкретных действий, которые необходимо выполнить для решения проблемы;
- ориентация на решение трудноформализуемых и неформализуемых задач принятия решений;
- отсутствие заранее заданного алгоритма принятия решений: алгоритм строится самой системой в процессе анализа имеющихся данных;
- отсутствие гарантии получения оптимального результата (как правило, результат бывает хорошим, но не наилучшим из возможных).

Основные компоненты, из которых состоит ЭС, показаны на рисунке 1.

**База данных (рабочая память)** предназначена для хранения исходных и промежуточных данных решаемой в текущий момент задачи. Этот термин совпадает по названию, но не по смыслу с термином, используемым в информационно-поисковых системах (ИПС) и системах управления базами данных (СУБД) для обозначения всех данных (в первую очередь долгосрочных), хранимых в системе.

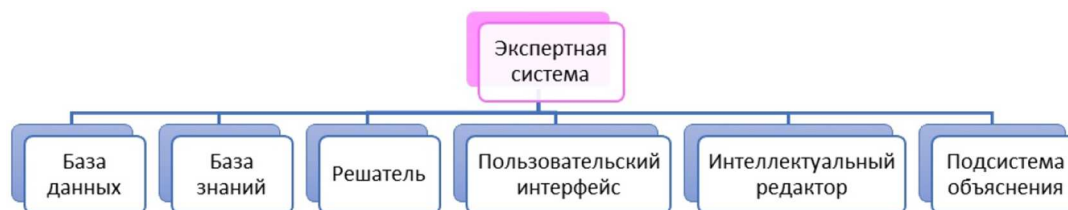


Рисунок 1 – Типичная структура ЭС

**База знаний (БЗ)** экспертной системы предназначена для хранения долгосрочных *данных*, описывающих рассматриваемую область (не текущих данных), и *правил*, которые используются для оперирования данными – описывают их целесообразные преобразования.

Данные (факты) характеризуют рассматриваемые объекты и явления, которые для данной предметной области являются постоянными, содержат статистическую информацию. Правила представляют собой типовые алгоритмы обработки данных, которые позволяют получить новые знания из имеющихся данных. Для экспертной системы выбора гидравлического двигателя в качестве данных должны выступать такие факты, как проектный профиль скважины, типоразмер долота, частота вращения долота, осевая нагрузка на долото, плотность и расход бурового раствора и т.д., а правилами будут являться сравнение фактов и показателей с характерными или рекомендуемыми для того или иного случая значениями, методики исключения неподходящих вариантов на основе анализа имеющихся данных и прочее.

ЭС запрашивает и анализирует параметры и факты, интерпретирует результаты, генерирует временные гипотезы, запрашивает дополнительную информацию и учитывает полученные результаты анализа. Процесс продолжается до получения достаточной информации для формирования заключения.

При разработке ЭС наиболее критическим фактором является человеческий, поскольку разработка таких систем требует высочайшей квалификации от коллектива разработчиков [7]. Для создания БЗ привлекают три основных группы специалистов:

- эксперты в предметной области;
- инженеры по знаниям (специалисты в области разработки искусственных интеллектуальных систем);
- программисты, которые реализуют экспертную систему на практике.

Задача эксперта состоит в определении данных и правил, которые характеризуют предметную область, а также обеспечивают полноту и правильность БЗ. Инженер по знаниям выступает в роли промежуточного буфера между экспертом и базой знаний. В задачи инженеров по знаниям входит выявление и структурирование знаний. Они также выбирают наиболее подходящие для решения поставленных задач программные средства, способы представления знаний с помощью этих программных средств, а также программируют стандартные функции и процедуры, которые будут использоваться во вводимых экспертом правилах. Задачами программистов является разработка необходимых программных средств и осуществление сопряжения этих средств с программным окружением ЭС.

**Решатель** как компонент ЭС, используя исходные данные из рабочей памяти и знания из БЗ, формирует такую последовательность правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи. Это механизм получения и вывода результата.

**Интеллектуальный редактор** базы знаний предназначен для автоматизации работы пользователя по наполнению ЭС новыми знаниями.

**Подсистема объяснения** выводит описание способа решения поставленной задачи, а также использованных для этого знаний. Если результат не получен, подсистема дает пояснение причин этого события.

**Пользовательский интерфейс** предназначен для организации общения ЭС и пользователей на всех этапах работы.

Интерфейс пользователя обеспечивает два режима работы экспертной системы: режим **приобретения знаний** и режим **решения задач**.

В режиме приобретения знаний эксперт при помощи инженера по знаниям наполняет ЭС необходимыми знаниями, которые в дальнейшем позволяют экспертной системе уже в режиме решения задач самостоятельно находить ответ. В режиме решения задач ЭС для пользователя является или просто носителем информации (справочником), или позволяет получать результат и объясняет способ его получения. Конечный пользователь в режиме решения задач вводит в ЭС данные, которые поступают в рабочую область и обрабатываются решателем (с привлечением необходимой информации из базы знаний).

Экспертные системы имеют ряд важных преимуществ перед человеком-экспертом [2, 3]:

- *постоянство и стабильность* – компетентность экспертных систем не зависит от колебаний, которые связаны с состоянием здоровья человека, усталостью и другими подобными факторами;
- *простота передачи информации* – имеющаяся ЭС можно легко копировать, и это намного проще, чем многократно передавать знания от человека к человеку;



• *устойчивость и воспроизводимость получаемых результатов* – эксперт-человек может принимать в сходных условиях различные решения из-за эмоциональных факторов, результаты же экспертной системы стабильны;

• *стоимость* – разработка ЭС затратна, но они дешевы в эксплуатации;

• *быстрый отклик* – ЭС формирует решение в короткие сроки и может быть более готовой к работе, чем эксперт-человек, может применяться в экстремальных ситуациях, когда требуется быстрая реакция в реальном времени.

Вместе с тем экспертные системы имеют ряд существенных недостатков [1, 2]:

• *предназначение для узкой предметной области* – в отличие от других систем искусственного интеллекта ЭС не могут решать универсальные задачи, такие как классификация данных, подбор зависимостей и т.п.;

• *существенная зависимость качества работы от качества базы знаний*, которая содержится в ЭС, а качество этой БЗ определяется, с одной стороны, квалификацией тех экспертов, которых привлекали для разработки ЭС, а с другой стороны, сложностью формализации предметных областей (существуют такие предметные области, для которых сегодня в принципе невозможно создать качественную ЭС);

• *ненадежное функционирование вблизи границ их применимости* – наиболее уязвимы экспертные системы в распознавании границ своих возможностей;

• *значительные трудозатраты для пополнения базы знаний*. ЭС не способны к самообучению. Получение знаний от экспертов и внесение их в базу знаний представляет собой сложный процесс, сопряженный со значительными затратами времени и средств (как правило, такой процесс поддается очень слабой автоматизации);

• *низкая приспособляемость к обучению новым правилам и концепциям, к творчеству и изобретательству*;

• *необходимость обновления программных средств*: быстрое развитие информационных технологий, возникновение новых алгоритмов приводит к тому, что надо постоянно улучшать используемые средства сопряжения ЭС с операционными системами и другим программным окружением.

Экспертные системы сегодня классифицируют по множеству критериев, таких как назначение, сложность и объем базы знаний, класс решаемой задачи, связь с реальным временем, способ формирования решения, вид используемых данных и прочее [4, 7].

Экспертная система выбора рационального типа гидравлического забойного двигателя для бурения скважин (ЭС-ГЗД) является консультирующей (информационной) по своему назначению, с достаточно объемной базой знаний – при подборе оборудования должно быть учтено большое число взаимосвязанных и взаимозависимых факторов. Класс решаемой задачи данной ЭС – планирование и проектирование. Это статическая экспертная система, поскольку ее БЗ предполагает содержание структурированных неизменных знаний о предметной области. По виду используемых данных и знаний ЭС-ГЗД должна быть отнесена к детерминированным ЭС (данные и знания четко определены). Способ формирования решения экспертной системы выбора рационального типа ГЗД – аналитический, предполагающий подбор из множества известных альтернатив.

Для успешного построения ЭС-ГЗД необходима разработка подробного описания методики решения задачи выбора рационального типа ГЗД и эффективная совместная работа по формированию базы знаний экспертов по буровому оборудованию, специалистов в области искусственного интеллекта и разработчиков программного обеспечения.

В настоящее время экспертные системы признаны перспективным направлением, они используются во многих областях нашей жизни. В России исследования и разработки в области ЭС включены в ряд государственных и отраслевых научно-технических программ. ЭС находят практическое применение в бизнесе и в решении серьезных информационных задач и демонстрируют ощутимый эффект от их использования. Безусловно, только человек способен находить творческие, нестандартные решения, однако использование компьютерных технологий сможет сильно облегчить работу профессионала.

## Литература:

1. Аждер Т.Б. Об экспертных системах // Новая наука: от идеи к результату: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (22 декабря 2016 г., г. Сургут) / в 4 ч. Ч. 3. – Стерлитамак : АМИ, 2016. – № 12–3. – С. 10–12.
2. Бояркина А.К., Ермолаева В.В. Экспертные системы // Молодой ученый. – 2016. – № 11. – С. 286–289. – URL : <https://moluch.ru/archive/115/31247/> (дата обращения: 11.02.2019).
3. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание / Пер. с англ. – М. : ООО «ИД Вильямс», 2007. – 1152 с.
4. Попов Э.В. Экспертные системы: решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. – М. : Наука, 1987. – 287 с.



5. Симонянц С.Л. Технология бурения скважин гидравлическими забойными двигателями : учебное пособие. – Н. Новгород : Изд-во «Вектор ТиС», 2007. – 160 с.
6. Симонянц С.Л., Двойников М.В. Гидравлические забойные двигатели / В книге: Технология бурения нефтяных и газовых скважин : учебник для студентов вузов. – Тюмень, 2017. – Т. 1. – С. 448–522.
7. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. – СПб. : БХВ–Петербург, 2003. – 608 с.

#### References:

1. Azhder T.B. Expert systems // New Science: from Idea to Result: The International scientific periodical of the International scientific-practical conference (December 22, 2016, Surgut). In 4 parts. – P. 3. – Sterlitamak, 2016. – № 12–3. – P. 10–12.
2. Boyarkina A.K., Ermolaeva V.V. Expert systems // Young scientist. – 2016. – № 11. – P. 286–289. – URL : <https://moluch.ru/archive/115/31247/> (accessed 11 February 2019).
3. Jarratano D., Riley G. Expert systems: principles and programming, 4th edition / Transl. from English. – M. : Publishing House «Williams», 2007. – 1152 p.
4. Popov E.V. Expert systems: Decision of nonformalized tasks in the dialogue with computer. – M. : Science, 1987. – 287 p.
5. Simonyants S.L. The technology of drilling hydraulic downhole motors : a manual. – N. Novgorod : Publishing House «Vector TiS», 2007. – 160 p.
6. Simonyants S.L., Dvoynikov M.V. Hydraulic downhole motors / In the book: Technology of drilling oil and gas wells: a textbook for university students. – Tyumen, 2017. – V. 1. – P. 448–522.
7. Chastikov A.P., Gavrilova T.A., Belov D.L. Development of expert systems. CLIPS. – St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2003. – 608 p.