

А. А. Кожевников, д-р техн. наук<sup>1</sup>; Baochang Liu, д-р<sup>2</sup>, А. А. Пащенко, канд. техн. наук<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»,  
пр. Д.Яворницкого 19, 49600, г.Днепр, e-mail: aak2@ua.fm

<sup>2</sup> College of Construction Engineering, Jilin University, China

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ БУРЕНИЯ

Автоматизация технологических процессов на основе современной техники должна обеспечить интенсификацию производства, повышение качества и снижение себестоимости продукции. Рассмотрены автоматизированные системы управления процессом бурения: САОПБ-1, Карат-2, АСУТП-Б, АЛМАЗ и др., что позволило привести классификацию данных систем по функциональному назначению: стабилизация скорости подачи, управление параметрами режима бурения и гибкая производственная система. Выделено четыре класса систем управления в зависимости от сложности геолого-технических условий бурения скважин. В первый класс отнесены системы стабилизации скорости подачи, второй - предназначенные для реализации сравнительно простых алгоритмов управления процессом бурения, третий - ориентированные на работу в сложных и слабо изученных геолого-технических условиях, четвертый - способных работать в автоматических режимах при углубке скважины и при проведении спускоподъемных операций. Показано что наиболее технологичным является реализация комплекса технических средств способных работать в автоматических режимах при углубке скважины и проведении спускоподъемных операций.

**Ключевые слова:** автоматизация, система управления, бурение, скважина, углубка, скорость подачи.

### Введение

Автоматизация технологического процесса составляет важную часть научно-технического прогресса при проведении геологоразведочных работ. Теоретические исследования в области совершенствования управления процессом бурения и его оптимизации получили новые возможности практической реализации с появлением управляющей микропроцессорной техники и созданием на ее основе систем автоматизированного управления.

Разнообразные образцы систем автоматизированного управления процессом бурения разведочных скважин на твердые полезные ископаемые позволяют не только управлять процессом бурения в реальном времени по любому из известных алгоритмов, но и собирать, накапливать и обрабатывать информацию о процессе бурения, а также диагностировать работоспособность отдельных узлов и механизмов.

Автоматизация технологических процессов на основе современной техники должна обеспечить интенсификацию производства, повышение качества и снижение себестоимости продукции.

Необходимость этого вытекает из анализа производственной деятельности геологоразведочных организаций по выполнению плановых заданий. Несмотря на то, что внедрение современного оборудования, инструментов, прогрессивной технологии бурения, средств механизации и автоматизации отдельных операций, совершенствование организации труда в целом обеспечило выполнение этих заданий, в разведочном бурении остаются значительные резервы повышения производительности труда и улучшения его технико-экономических показателей. Эти резервы заключаются прежде всего в оптимизации и

автоматизации оперативного управления процессом бурения скважин и в совершенствовании организации работ.

**Цель статьи** – анализ разработанных ранее систем автоматизированного управления процессом бурения.

**Основной материал**

1) Система автоматизированной оптимизации управления технологическим процессом бурения САОПБ-1 разработана Севукргеологией. Всего в организациях работало 35 систем, в т.ч. в Уралгеологии- 20. Применение САОПБ-1 в Высокогорской партии Уралгеологии обеспечило повышение скорости бурения на станко-месяц до 19%, снижение удельного расхода алмазов до 30%, сокращение аварий в 2 раза.

В Ворошиловградгеологии при применении САОПБ-1 расход алмазов был сокращен на 18%, повышена механическая скорость бурения на 20%. Во всех организациях применение систем обеспечило экономический эффект. Существенно снижены психофизиологические и физические нагрузки на машинистов буровых установок.

2) Аналогом устройства САОПБ-1 является система Карат-2. Карат-2 обладает всеми технико-экономическими показателями аналога, но имеет ряд преимуществ:

- способность адаптироваться к изменению пород в процессе бурения, что повышает его эффективность в условиях перемежающихся, трещиноватых, дробленых пород;
- использование при его изготовлении изделий, широко применяемых в промышленности, что резко снижает стоимость устройства.

Карат-2 показал хорошие результаты на буровых агрегатах СКБ-4, СКБ-5, СКБ-7; причем наличие на них регулируемого привода не обязательно. Карат-2 может быть установлен и на ЗИФ-650М, но для этого необходимо оснастить агрегат гидропультом станка СКБ-5 или провести доработку его гидросистемы.

3) Система АСУТП-Б предназначена для осуществления технологического процесса углубки скважины алмазным инструментом.

Система АСУТП-Б обеспечивает:

- качественное выполнение буровых работ по выходу керна;
- предупреждение технологических осложнений и аварий;
- улучшение организации труда буровой бригады;
- снижение психофизиологических нагрузок на бурильщика в условиях форсированного технологического процесса;
- независимость технико-экономических показателей бурения от квалификации персонала буровой бригады; возможность оперативной корректировки технологического процесса;
- возможность создания разветвленной автоматизированной системы управления производством буровых работ по всему геологоразведочному объекту.

АСУТП-Б включает в себя: комплект управляющей вычислительной техники (МСУВТ) типа В7; программное обеспечение; телевизионный индикатор. Применяется для управления буровым агрегатом СКБ-5 и его модификациями, оснащенными регулируемым электроприводом РЭП-5и комплектом серийных преобразователей параметров режима бурения.

В автоматизированном режиме работы система позволяет:

- осуществлять бурение в режиме ручного управления при отображении параметров технологического процесса на телевизионном экране;
- выполнять цикл операций в автоматическом режиме при ручном регулировании частоты вращения инструмента;
- осуществлять переход с автоматического на автоматизированный режим управления и обратно без остановки процесса углубки скважины;

- производить оперативную корректировку технологического процесса путем оперативной замены установок, используемых в алгоритме, а также осуществлять подрыв бурового снаряда и возврат к бурению в любой момент рейса по желанию бурильщика.

При проведении работ в автоматическом режиме функции бурильщика заключаются в следующем:

- проведение спускоподъемных операций;
- наращивание бурового снаряда;
- пуск системы;
- техническое обслуживание оборудования;
- подготовка к работе технологического инструмента.

При испытаниях и производственной эксплуатации в условиях пород IX, X категории по буримости получены следующие показатели: механическая скорость бурения –  $3 \div 4$  м/ч, расход алмазов –  $0,3 \div 0,5$  кар/м, длина рейса и выход керна на 5–10% выше, чем при ручном управлении; наработка на отказ УВТВ7 – 5000 ч.

Система разработана Отрядом автоматизации технологического процесса бурения ПГО «Кировгеология».

4) Система контроля и управления бурением АЛМАЗ. Система позволяет:

- контролировать технологический процесс;
- распознавать осложнения и аварийные ситуации и сокращать простои оборудования за счет распознавания аварийных ситуаций;
- выводить объект управления на оптимальный технологический режим;
- оптимизировать осевую нагрузку в перемежающихся породах.

Эффективность разработанных управляющих систем зависит также от уровня технологического информационного обеспечения для конкретных условий внедрения систем. Это наглядно видно на примере САОПБ-1, для эффективной работы которой разрабатывается номограмма. Разработка такой номограммы возможна лишь при глубоком технологическом исследовании процесса бурения и требует большого объема технологических работ. Однако рекомендации по оптимальной подаче за оборот, полученные с помощью этой номограммы, справедливы лишь для конкретного типа породоразрушающего инструмента. С другой стороны, многочисленные исследования показывают, что в горных породах, относящихся к одной и той же категории пород по буримости достигаются весьма различные показатели бурения. Также жесткая привязка категории пород к зернистости алмазов в породоразрушающем инструменте предполагает, что для всех типов коронок с одинаковой зернистостью будет оптимальной некоторая единственная величина оптимальной подачи за оборот. Из этого следует вывод, что при проведении технологических исследований бурового процесса не может быть разработана единая номограмма для всех геолого-технических условий.

Таким образом, разработанные системы управления процессом бурения можно классифицировать по функциональному назначению.

Для различной сложности геолого-технических условий бурения скважин можно выделить 4 класса систем управления.

Основным назначением систем первого класса является поддержание заданной оператором оптимальной скорости подачи.

В результате стабилизации скорости подачи ресурс алмазных коронок, особенно в трещиноватых породах увеличивается в 1,8–2 раза, а твердосплавных – в 2–2,5 раза.

**Таблица 1. Классификация систем управления процессом бурения по функциональному назначению**

| Группа | Функциональное назначение             | Система  |
|--------|---------------------------------------|--|
| I      | Стабилизация скорости подачи          | Дроссель-регулятор РП, Регулятор МПГ, САОПБ-1, АРП-2, «Алмаз-3», «Барс-1»        |
| II     | Управление параметрами режима бурения | «Парус», «Карат», АСУ БК, АСКУБ (ОНИЛ «Поиск»), САУОПБ-3, «МикроБУР», АСУТП-Б-В7 |
| III    | Гибкая производственная система       | РБК-4, АРС   |

Системы стабилизации скорости подачи создавались как технические средства для решения частных технологических задач, из которых можно выделить следующие (в различных системах этот набор функций разный): стабилизация скорости подачи, ограничения по максимально заданной осевой нагрузке, ограничения по максимально заданному давлению очистного агента, ограничения по максимально заданному крутящему моменту на валу электродвигателя; подрыв снаряда над забоем при превышении заданных ограничений; дохождение коронки до забоя, постановка коронки на забой и ее приработка.

Такая система включает: регулятор скорости подачи, измеритель скорости подачи, измеритель осевой нагрузки, схему защиты от перегрузок по осевой нагрузке (при смене горных пород, износе инструмента). Для работы в сложных геолого-технических условиях систему могут быть введены узлы: измеритель давления промывочной жидкости, измеритель тока нагрузки электродвигателя и схемы защиты от их превышения свыше допустимых значений.

Система управления второго класса предназначена для реализации сравнительно простых алгоритмов управления процессом бурения, разработанных для конкретных геолого-технических условий. Как и системы первого класса данная система может быть установлена на любых буровых шпиндельных станках с гидравлической подачей. Целью управления является оптимизация скорости подачи. Число управляемых параметров увеличено до шести; добавлены измерители частоты вращения и расхода промывочной жидкости. Введены дополнительные ограничения для скорости подачи и расхода промывочной жидкости.

Система управления третьего класса ориентирована на работу в сложных и слабо изученных геолого-технических условиях. Система предназначена для установки на буровых станках с плавно регулируемым электроприводом и управления по трем каналам: скорость подачи, частота вращения и расход промывочной жидкости.

Система четвертого класса. Реализация комплекса технических средств способных работать в автоматических режимах при углубке скважины и при проведении спускоподъемных операций. При этом система управления бурением управляемая процессором, руководствуется программой и критериями, ориентированными на поиск оптимальных условий и параметров режима бурения. К таким средствам в настоящее время можно отнести буровые агрегаты компании *AtlasCopco* с системами АРС (автоматического контроля бурения) и роботизированную буровую систему РБК-4.

### **Выводы**

Таким образом наиболее технологически выгодной является реализация комплекса технических средств способных работать в автоматических режимах при углубке скважины и проведении спускоподъемных операций. В частности, система АРС позволяет управлять

процессом бурения одному оператору. В память компьютера записываются такие данные как: глубина скважины, количество и давление воды на входе, частота вращения, скорость бурения, усилие на коронку, давление в гидросистеме и др. Система оптимизирует скорость бурения, регулирует усилие подачи, частоту вращения и крутящий момент в соответствии с изменением условий бурения. Таким образом с применением систем АРС основные функции оператора сведены до минимума: настройка параметров бурения, запуск станка в работу, подача бурильных труб и упаковка керна в ящики. Все остальное делает буровая установка, повышая производительность бурения в целом и значительно снижая риск возникновения ошибки со стороны оператора. Кроме того, за счет точного контроля технологических операций бурения системой АРС и незамедлительного реагирования на любые изменения прочностных свойств буримых пород (автоматическая подстройка усилия подачи, скорости вращения и момента вплоть до полной остановки) имеет место:

- повышение эффективности спускоподъемных операций;
- увеличение износостойкости бурового инструмента до 100%;
- снижение риска заклинивания керна и искривления скважины;
- снижение трудоемкости работ оператора;
- возможность бурения без присутствия человека.

*Автоматизация технологических процессов на основе современной техники должна обеспечить интенсификацию производства, повышение качества и снижение себестоимости продукции. Рассмотрены автоматизированные системы управления процессом бурения: SAOPB-1, Karat-2, ASUTP-B, ALMAZ и др. Это позволило классифицировать данные системы по функциональному назначению: стабилизация скорости подачи, управления параметрами режима бурения и гибкая производственная система. Выделены четыре класса систем управления в зависимости от сложности геолого-технических условий бурения скважин. В первый класс отнесены системы стабилизации скорости подачи, во второй - предназначены для реализации относительно простых алгоритмов управления бурением процессом, в третий - ориентированы на работу в сложных и слабо изученных геолого-технических условиях, четвертый - способны работать в автоматических режимах при продолжении скважин и при проведении спускоподъемных операций. Показано, что наиболее технологичным является реализация комплекса технических средств, способных работать в автоматических режимах при углублении скважин и проведении спускоподъемных операций.*

**Ключевые слова:** автоматизация, система управления, бурение, скважина, углубление, скорость подачи.

**A. A. Kozhevnykov, Baochang Liu, A. A. Pashchenko**  
**AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF THE DRILLING PROCESS**

*Automation of technological processes based on modern technics should ensure the intensification of production, improving the quality and reducing the cost of production. The automated drilling control systems as are SAOPB-1, Karat-2, ASUTP-B, ALMAZ, etc. were considered. This allowed to classify these systems according to their functional purpose: stabilization of feed rate, control of drilling parameters and flexible production system. Four classes of control systems are distinguished depending on the complexity of geological and technical conditions for drilling boreholes. The first class includes the systems for stabilization of the feed rate, the second - designed to implement relatively simple algorithms for controlling the drilling process, the third - oriented to work in complex and poorly studied geological and technical conditions, the fourth - capable of operating in automatic modes for deepening the borehole and for tripping operations. It is shown that the most technological is the implementation of a set of technical facilities capable of operating in automatic modes during borehole deepening and carrying out tripping operations.*

**Key words:** automation, control system, drilling, borehole, deepening, feed rate.

### Литература

1. Храменков В. Г. Контроль и автоматизация технологических процессов при бурении геологоразведочных, нефтяных и газовых скважин: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 301 с.
2. Кожевников А. А., Пащенко А. А. Современное состояние и проблемы оптимизации процесса разрушения горных пород при бурении // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - технология его изготовления и применения. Сб.н.тр. – Вып. 17 – Киев: Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, 2014. – С. 91–94.
3. Храменков В. Г. Автоматизация производственных процессов: учебник. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 343 с.

Поступила 07.06.18

### References

1. Khramenkov V. G. (2004). *Kontrol i avtomatizatsiia tekhnologicheskikh protsessov pri burenii geologorazvedochnykh, neftiannykh i gazovykh skvazhin* [Control and automation of technological processes while drilling geological, oil and gas wells]. Tomsk: TPU [in Russian].
2. Kozhevnikov A. A., & Pashchenko A. A. (2014). *Sovremennoie sostoianiiie i problemy optimizatsii protsessa razrusheniia gornykh porod pri burenii* [Modern state and problems of optimization of the process of fracture of rocks during drilling]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, 17, 91–94.* [in Russian].
3. Khramenkov V. G. (2011) *Avtomatizatsiia proizvodstvennykh protsessov* [Automation of production processes]. Tomsk: TPU [in Russian].

УДК 622.24.051.64

DOI: 10.33839/2223-3938-2018-21-1-45-54

**А. А. Каракозов<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **М. С. Попова<sup>1</sup>**; **А. П. Загора<sup>2</sup>**, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
<sup>2</sup>Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,  
ул. Автозаводская 2, 04074, г. Киев, e-mail: apz146@ism.kiev.ua

### К ОБОСНОВАНИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОСЕКТОРНЫХ СХЕМ ОДНОСЛОЙНЫХ АЛМАЗНЫХ КОРОНОК С УКОРОЧЕННЫМИ СЕКТОРАМИ

Рассмотрены вопросы возможности использования многосекторных однослойных алмазных коронок с укороченными секторами, содержащими не более четырёх радиальных рядов алмазов. Проведенное компьютерное моделирование теплового режима однослойной алмазной коронки с различным количеством радиальных рядов алмазов в секторе показало, что ограничение количества радиальных рядов в секторе однослойной алмазной коронки обуславливает повышение её эффективности как с точки зрения обеспечения равномерного нагружения и износа алмазных резцов, так и обеспечения более щадящего температурного