

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ БУРОВОГО СТАНКА PV-235 В УСЛОВИЯХ АЙХАЛЬСКОГО ГОКА

ИЛЬБУЛЬДИН Д. Х.<sup>1</sup>, ЕГОРОВ М. С.<sup>1</sup>, КОНУРИН А. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО),

<sup>2</sup> Институт горного дела имени Н.А. Чинакала СО РАН

**Аннотация.** Объект исследования – система дистанционного управления бурового станка. Представлены результаты эксперимента по использованию системы дистанционного управления бурового станка PitViper-235. Определены поправочные коэффициенты к нормативной производительности бурового станка в режиме дистанционного управления. Приводятся примеры по улучшению компонентов системы для эффективной работы станка в режиме дистанционного управления.

**Ключевые слова:** Буровой станок, дистанционное управление, хронометражные наблюдения, поправочные коэффициенты.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE REMOTE CONTROL SYSTEM OF THE PV-235 DRILLING RIG IN THE CONDITIONS OF THE AIKHAL GOK

ILBULDIN D. KH.<sup>1</sup>, EGOROV M. S.<sup>1</sup>, KONURIN A. I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yakutniproalmaz Institute of PJSC ALROSA,

<sup>2</sup>N.A. Chinakal Institute of Mining SB RAS

**Abstract.** The object of the research is the remote control system of the drilling rig. The results of an experiment on the use of the remote control system of the PitViper-235 drilling rig are presented. Correction factors have been determined for the standard productivity of the drilling rig in the remote control mode. Provides examples of how to improve system components for efficient machine operation in remote control mode.

**Keywords:** Drilling rig, remote control, timing observations, correction factors.

При отработке нижних горизонтов карьеров горные работы ведутся в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях: высокая запыленность воздуха, связанная с разрушением горных пород взрывным или механическим способами; загазованность воздуха от выхлопов горнотранспортных машин, работающих на горючем топливе; влияние высоких и низких температур [1]. Применение систем, обеспечивающих исключение человека в управлении производственным процессом, является одним из основных направлений в развитии мировой горной промышленности, как в нашей стране, так и за рубежом. Разработки подобных систем с полной автоматизацией всех процессов уже в самое ближайшее время смогут принципиально изменить технико-технологические принципы функционирования горных предприятий. В последние годы за рубежом ведутся интенсивные работы по созданию и внедрению систем автоматического управления буровым оборудованием [2-4]. Дистанционное управление (ДУ) горными работами на карьере предполагает применение технологий открытых горных работ с использованием таких машин и механизмов, которые бы обеспечили минимум присутствия людей непосредственно в забое [5].

В акционерной компании «АЛРОСА» (ПАО) (далее – Компания) непрерывно реализовываются мероприятия, направленные на построение эффективной системы

производственного контроля и повышения безопасности производственных процессов в соответствии с лучшими мировыми практиками и стандартами [6-8]. Впервые в России в условиях Крайнего Севера на карьере «Юбилейный» выполнены испытания работы бурового станка PitViper-235 компании Atlas Copco, оснащенного системой дистанционного управления (далее – СДУ). В настоящей статье представлены результаты опытно-промышленного испытания работы СДУ станка PitViper-235 многозаходного вращательного бурения на гусеничном шасси с гидравлическим верхним приводом, для бурения скважин глубиной до 42.7 м сменными штангами длиной 10.7 м (Рисунок 1).



**Рисунок 1. Система дистанционного управления:** а) мобильный центр управления буровым станком на базе прицепа; б) буровой станок PitViper-235

Для изучения влияния СДУ на рабочий цикл бурового станка были выполнены опытно-промышленные испытания. Они выполнялись в 3 этапа: подготовка бурового станка к эксплуатации в режиме дистанционного управления, определение основных показателей работы бурового станка в режиме ручного управления (РУ) и дистанционного управления, обработка результатов наблюдений.

Опытно-промышленные испытания СДУ бурового станка проведены на блоке № 524, горизонта +440 м карьера «Юбилейный» находящегося в 15 км к северо-западу от пос. Айхал. Трубка «Юбилейная» отрабатывается открытым способом с 1989 года. К настоящему времени горные работы в текущем контуре карьера «Юбилейный» достигли глубины 360 м (абсолютная отметка +260 м). Горные породы блока состояли из мергелей с коэффициентом крепости по Протодяконову  $f - 5$  и объемным весом –  $2.41 \text{ т/м}^3$ . Для сравнения результатов хронометражных наблюдений блок был условно разделен на 2 части, в каждой из которых было пробурено по 10 скважин в режиме ручного и дистанционного управления. Кабина ДУ была установлена на расстоянии 520 метров от зоны работы бурового станка на одном с ним горизонте, что обеспечило в данном диапазоне достаточно устойчивый сигнал на прием и передачу. Самая крайняя устойчивая точка рабочего сигнала соответствовала дистанции 800 метров. Бурение осуществлялось с применением шарошечного долота фирмы «Волгабурмаш» 228.6 МЗ-ПГВ при следующих режимах бурения: скорость вращения 90-105 об/мин, нагрузка на долото 170-190 кН, воздушное давление 4.5-4.9 бар. Буровой станок PitViper-235 был укомплектован дополнительными модулями: высокоточной глобальной системой позиционирования GPS, системой самовыравнивания.

Задачи испытания:

1. Определение технических и технологических параметров эксплуатации бурового оборудования в режимах ручного и дистанционного управления;
2. Анализ затрат общепроизводственного характера;

3. Сравнительный технико-эксплуатационный анализ эффективности работы бурового оборудования в режимах ручного и дистанционного управления.

В комплекс СДУ входит: Wi-Fi модули для передачи аудио и видеoinформации, приемники, рабочее кресло оператора с пультами управления, монитор и 4 камеры наблюдения, одна из которых управляется дистанционно (поворот, наклон, приближение). При этом данные технических показателей (скорость вращения бурового инструмента, глубина бурения, давление масла и другие параметры) передаются в цифровом виде на панель дистанционного управления, который имеет такой же внешний вид, эргономику и кнопки, как и панель на буровом станке.

При использовании СДУ бурового станка в условиях карьера «Юбилейный» зафиксирован ряд технических ограничений:

1. Отмечается задержка отклика при передаче видеосигнала и команды оператора на буровой станок во время проведения операции по наращиванию и разборке штанг в режиме дистанционного управления, в связи с чем увеличивается время операций и нагрузка на резьбу буровых штанг.
2. Отмечается сложность маневрирования при переезде на первый ряд скважин подготавливаемого взрывного блока.
3. Требуется периодическая ручная смазка резьбы буровых штанг.
4. Требуется ручная очистка домкратов горизонтирования от налипания пород, льда и снега. Постановка неочищенного домкрата может стать причиной его поломки.
5. Требуется зачистка и закрытие устьев скважин.
6. Заправка станка топливом и водой производится с учетом перегона станка до безопасного участка под контролем человека.

Работа глобальной системы позиционирования GPS/ГЛОНАСС в карьере «Юбилейный» обеспечивалась разработанной компанией «Blast Maker» автоматизированной системой управления буровзрывных работ (далее – АСУ БВР «Blast Maker»). Система включает возможность автоматического управления буровым станком, увеличивая производительность оператора и снижая износ станка. При соединении возможностей системы по позиционированию и распознаванию материала достигается оптимизация процесса взрывных работ. Качественные взрывные работы способствуют увеличению производительности карьера, обеспечивая повышение эффективности использования экскаваторов [9].

Во время испытания СДУ для отображения точных координат скважин и их азимута (при бурении наклонных скважин) применялся портативный планшет, позволяющий использовать АСУ БВР «Blast Maker» в режиме «Навигация», что позволяло машинисту с высокой точностью наводить буровой станок на координаты скважин. Следует учесть, что при отсутствии спутникового сигнала бурение в дистанционном режиме не представляется возможным.

В ходе хронометражных наблюдений были зафиксированы следующие операции: смазка станка, заправка компрессора, набор воды, заправка станка горюче-смазочными материалами, перегон станка до опасного или безопасного передела, перемещение машиниста между кабиной ДУ и буровым станком, подготовка кабины и станка к работе в режиме ДУ.

Сменная производительность бурового станка определяется в соответствии с формулой:

$$H_{см} = \frac{T_{см} - T_{пз} - T_{лн}}{t_{бур} + t_{есн}},$$

где  $T_{см}$ ,  $T_{пз}$ ,  $T_{лн}$  – соответственно продолжительность смены (12 час.), время на подготовительно-заключительные работы и личные надобности (табл. 1), мин;

$t_{бур}$  – норматив времени на бурение одного погонного метра скважин, мин/пог.м,

$t_{всп}$  – нормативы времени на вспомогательные операции, мин/пог.м [10].

Время на подготовительно-заключительные работы в начале и в конце смены увеличивается за счет дополнительных операций:

- подготовки кабины и бурового станка к работе в режиме ДУ (включение Wi-Fi, подключение связи между кабиной и станком и т.д.);
- перемещения машиниста между кабиной и буровым станком;
- перегона станка в опасную зону и вывод в безопасное место.

**Таблица 1. Пооперационное среднее время подготовительно-заключительных работ бурового станка PitViper-235 в режимах ручного и дистанционного управления**

№ п/п	Наименование операции	Время выполнения операций, мин/см		Отношение РУ к ДУ
		в режиме РУ	в режиме ДУ	
1	Прием-сдача смены	12*	12	1.00
2	Осмотр станка, рабочей площадки, основного и вспомогательного оборудования, наличия средств ПБ и ОТ	8*	8	1.00
3	Смазка станка, заправка компрессора, набор воды, заправка станка горюче-смазочными материалами, устранение мелких неисправностей	18	42	2.33
4	Прохождение медосмотра	5	5	1.00
5	Перегон станка до опасного или безопасного передела (150 м)	-	18	-
6	Перемещение машиниста между кабиной ДУ и буровым станком (520 м)	-	6	-
7	Подготовка кабины и бурового станка к работе в режиме ДУ	-	10	-
8	Итого, затрачено времени на подготовительно-заключительные работы	43*	101	2.35
9	Время на личные надобности	15*	15	1.00

Примечания: \* Принято согласно данным приведенным в единых нормах выработки (времени) на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Бурение [10].

Обработка полученных в ходе эксперимента хронометражных данных по затратам времени на проведение буровых работ станком PitViper-235 в режимах ручного и дистанционного управления выполнена с применением методов математической статистики [11]. По хронометражным данным определены поправочные коэффициенты к сменной производительности при работе бурового станка PitViper-235 в режиме дистанционного управления. Результаты расчета представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Поправочные коэффициенты к сменной производительности при работе бурового станка PitViper-235 в режиме дистанционного управления**

№ п/п	Наименование	Сменная производительность, пог.м/см		Отношение РУ к ДУ
		в режиме РУ	в режиме ДУ	
1	При бурении скв. глубиной до 10.7 пог. м (без наращивания и разборки штанг)	480	310	1.55
2	При бурении скв. глубиной свыше 10.7 пог. м (с наращиванием и разборкой штанг)	413	260	1.62
3	Поправочные коэффициенты к сменной производительности при работе в режиме ДУ при бурении скв. глубиной: - до 10.7 пог. м - свыше 10.7 пог. м		0.65 0.62	

Согласно хронометражным данным потери в производительности бурового станка в режиме ДУ по затратам времени на выполнение вспомогательных операций в основном отмечаются за счет наращивания и разборки штанг (табл. 3). Для уменьшения этих потерь нужно, во-первых, оснастить вращатель бурового става демпфирующим адаптером для сохранения резьбы буровых штанг и уменьшения времени наращивания штанг. Во-вторых, установить на буровой станок систему автоматического наращивания и разборки штанг, при которой затраты времени на выполнение данных операций, по предварительной оценке, составят до 2 минут. Далее для уменьшения затраты времени на выполнение подготовительно-заключительных работ бурового станка в режиме ДУ можно за счет организационных мероприятий, например, создание мобильных ремонтных бригад.

**Таблица 3. Пооперационное среднее время работы бурового станка PitViper-235 в режимах ручного и дистанционного управления по данным хронометража**

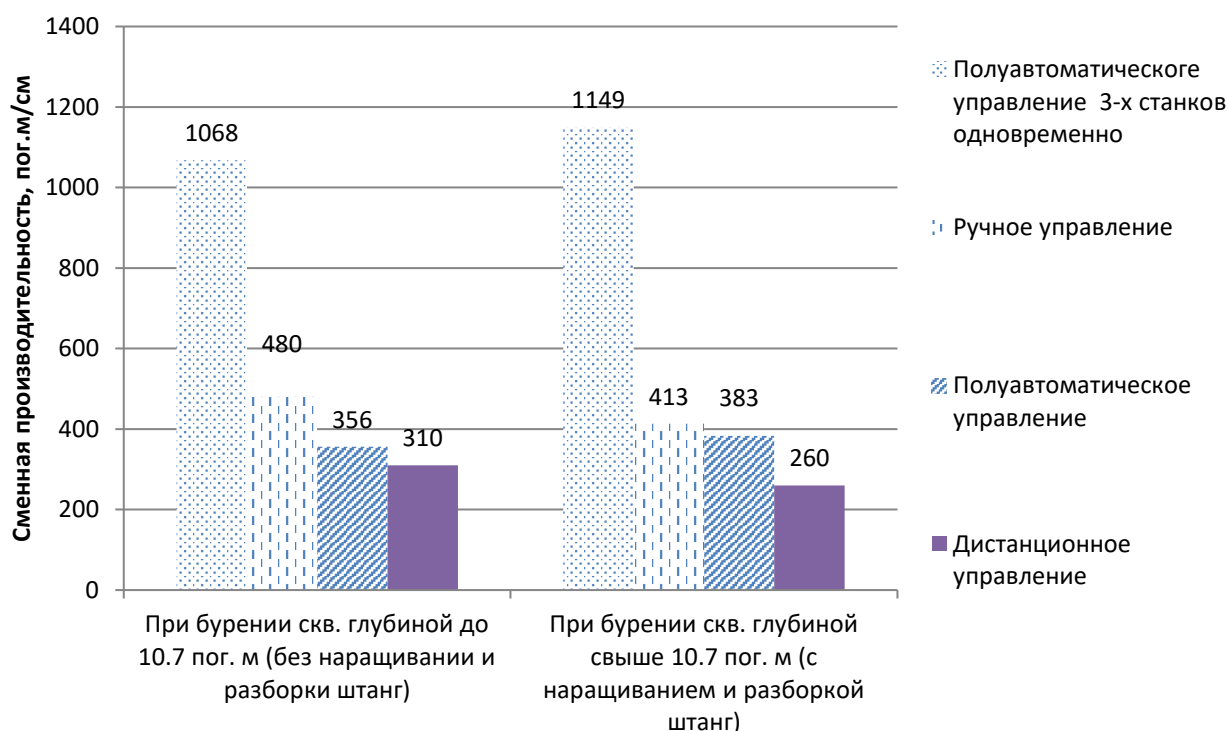
Режим работы	Переезд	Наращивание штанги	Разборка штанги	Горизонтирование станка	Снятие станка с домкратов	Бурение
РУ	2,17	3,31	3,6	0,63	0,42	16,32
ДУ	3,71	6,59	6,8	1,11	0,71	20,32

Следует отметить, что из-за усложнения управления машиной дистанционно время выполнения операций было больше в первоначальный период эксплуатации бурового станка и при приобретении операторами навыков дистанционного управления оно впоследствии уменьшилось. Этот случай в дальнейшем необходимо подробно рассмотреть и обосновать, в данный момент экспертным путем определено, что увеличение продолжительности операций за время бурения одной скважины составит 10%.

Оснадив существующий буровой станок модулем автоматического бурения, возможен его переход в режим полуавтоматического управления (автоматизирована только часть функций управление буровым станком, и продолжается требоваться управление человеком). В результате оператору нужно будет только совершить переезд станка на место работы и установить необходимые параметры бурения скважины. Операции по наращиванию и разборке штанг, горизонтированию и снятию с домкратов, продувки скважины будут осуществляться автоматически. При возникновении непредвиденных ситуаций станок подаст сигнал оператору. Предварительные расчеты производительности

бурового станка в режимах дистанционного и полуавтоматического управления на основе экспертных оценок, показали, что при бурении в режиме полуавтоматического управления отклонения в сторону повышения эффективности составило: при бурении скважины до 10.7 пог.м (без наращивания и разборки штанг) около 13%; при бурении скважины свыше 10.7 пог.м (с наращиванием и разборкой штанг) около 32% (рис. 2).

При условии адаптации и доукомплектации существующей системы дополнительным оборудованием, возможно увеличение нормы выработки (снижение трудоемкости) машиниста (оператора) бурового станка в 2,2 раза за счет внедрения многостаночного обслуживания буровых станков PitViper-235 (до 3-х ед.) в режиме полуавтоматического управления из кабины мобильного центра ДУ (рис. 2).



**Рисунок 2. Сравнительный анализ сменной выработки машиниста (оператора) бурового станка в режимах ручного, дистанционного, полуавтоматического управления и полуавтоматического управления в многостаночном режиме при управлении 3 станками.**

### Выводы

1. В ходе использования системы дистанционного управления бурового станка PitViper-235 на карьере «Юбилейный» были определены основные направления по улучшению работы компонентов таких систем в условиях Крайнего Севера:

- а) по модернизации бортового оборудования:
  - оснащение вращателя бурового става демпфирующим адаптером, для сохранения резьбы буровых штанг;
  - оснащение системой автоматического наращивания/разборки штанг и бурения скважин до заданных параметров, для увеличения производительности станка в режиме дистанционного управления;
- б) по системе связи:
  - оснащение кабины дистанционного управления мощной антенной связи или установление имеющейся антенны на подвижную платформу (с поворотом в 360 градусов и

углом наклона до 30 градусов), для устранения ограничения параметров связи, связанного с особенностями диаграмм направленности антенн;

с) по высокоточной навигации:

– оснащение кабины дистанционного управления бортовым комплектом (например, «КОБУС») для расширения функций использования системы GPS/ГЛОНАСС;

д) по бортовому программному обеспечению:

– установка системных модулей автоматического бурения для управления из кабины несколькими буровыми станками (до 3-х ед.).

Перечисленные предложения можно использовать для выбора оптимальной конфигурации бурового станка под конкретные условия безлюдной технологии.

2. Определены поправочные коэффициенты к нормативной производительности бурового станка PitViper-235 при работе в режиме дистанционного управления:

а) При бурении скважин глубиной до 10.7 пог. м – 0.65;

б) При бурении скважин глубиной свыше 10.7 пог. м – 0.62.

Вышеуказанные коэффициенты позволяют скорректировать расчёты для определения затрат рабочего времени на буровых участках.

3. Использование системы дистанционного управления на горном оборудовании позволяет обрабатывать глубокие горизонты карьеров в условиях высокой загазованности, а также в границах опасных по геомеханическим условиям зон от бортов и уступов.

4. Повышение уровня автоматизации на вспомогательных процессах бурения, создает возможность внедрения многостаночного обслуживания, что позволит повысить норму выработки машиниста (оператора) бурового станка, а также снизить трудоемкость и соответственно потребность в высококвалифицированных кадрах за счет снижения численности машинистов буровых станков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акишев А.Н., Лель Ю.И., Ильбульдин Д.Х., Мусихина О.В., Глебов И.А. Технологические решения по вскрытию и обработке глубоких горизонтов нюрбинского карьера АК "АЛРОСА" // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2017. № 7. С. 4-12.
2. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Владимиров Д.Я., Пыталев И.А. Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений // Горный журнал. 2017. № 11. С. 60-64.
3. Артемьев В.Б., Захаров В.Н., Галкин В.А., Федоров А.В., Макаров А.М. Стратегия, тактика и практика инновационного развития открытых горных работ // Уголь. 2017. № 12 (1101). С. 6-19.
4. Рыльникова М.В., Федотенко В.С., Есина Е.Н. Применение интеллектуальных систем и технологий при открытой разработке угольных месторождений с высокими вскрышными уступами // Горный журнал. 2018. № 1. С. 32-36.
5. Дубинкин Д.М. Современное состояние техники и технологий в области автономного управления движением транспортных средств угольных карьеров // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 6 (146). С. 8-15.
6. Карлик А.Е., Платонов В.В. Организационно-управленческие инновации: резерв повышения конкурентоспособности российской промышленности // Экономическое возрождение России. 2015. № 3 (45). С. 34-44.
7. Костровицкий С.И., Специус З.В., Яковлев Д.А., Фон-Дер-Флаасс Г.С., Суворова Л.Ф., Богуш И.Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции // Акционерная Компания «АЛРОСА» Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие (НИГП); ФАНО; Институт геохимии СО РАН. Мирный, 2015.

8. Ильбульдин Д.Х., Конури́н А.И. Совершенствование методики расчета технико-экономических показателей производительности горно-шахтного оборудования // В сборнике: Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. сборник докладов. 2019. С. 329-336.
9. А.Н. Акишев, И.В. Зырянов, Б.Н. Заровняев, Г.В. Шубин и др. Формирование рабочей зоны глубоких кимберлитовых карьеров / Новосибирск: Наука, 2015. – 204 с.
10. Единые нормы выработки (времени) на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Бурение. – НИИ труда, Москва, 1984 г.
11. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – В.С. Королук, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин, изд. «Наука», Москва, 1985 г.