

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА В СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДАХ

Текст: Коваленко В.А., к.т.н., директор Института коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета.

Райымкулов М.А., младший научный сотрудник, Института коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского Университета

Комиссаров П.В., к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ИХФ РАН)

Басакина С.С., инженер-исследователь, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ИХФ РАН), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Распределение скважинных зарядов воздушными промежутками (ВП) широко известно и применяется на практике при БВР. Принцип применения ВП основан на идее управления взрыва и впервые был предложен в работе Н.В. Мельникова в 1940-х годах [1]. Затем эта идея была проработана детально в совместных работах Н.В. Мельникова и Л.Н. Марченко в 1960-х [2]. Принято считать, что применение ВП в конструкции заряда приводит к снижению максимального пикового давления продуктов взрыва в воздушной полости, а также взаимодействию ударных волн с продуктами детонации в воздушной полости. При этом, как следует из работ [2-3], уменьшается доля энергии затрачиваемой на бесполезное переизмельчение породы в ближней зоне у заряда, увеличивается время действия расширяющихся продуктов взрыва на горный массив, улучшается проработка подошвы, а также снижается сейсмический эффект.

Несмотря на высокий интерес промышленности к практическому применению ВП в горном производстве, научные основы процессов происходящих в ВП при взрыве находятся в состоянии недостаточном для разработки промышленной технологии. В частности, механизм действия ВП ограничивается

упрощенным качественным описанием и сводится к нескольким гипотезам. Например, к такой: при взрыве рассредоточенного ВП заряда происходит более выгодное для разрушения горной массы распределение энергии взрыва за счет разгрузки продуктов детонации в воздушные промежутки и образование различного рода продольных пульсаций [4,5]. Однако, в такой гипотезе отсутствует удовлетворительное объяснение механизма действия, не учитываются размеры воздушного промежутка, свойства ВВ, физико-механические свойства горной породы, а также ряд второстепенных параметров. В связи с этим возникает проблема оптимизации конструкции заряда для конкретной производственной задачи (снижения сейсмического эффекта взрыва, дробления горной массы и проработки подошвы).

Разработчик программно-технического комплекса «Blast Maker»® - Институт Коммуникаций и Информационных технологий КРСУ поставил задачу оценить влияние ВП на разрушение породы и уточнить механизм действия ВП. Исследование ведется совместно с сотрудниками Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ИХФ РАН) и Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ). Для исследования действия взрыва рассредоточенного заряда с ВП на горный массив применяется метод численного моделирования, обеспечивающий подробный анализ как газодинамических процессов в сжимаемых продуктами взрыва ВП, так и процесса формирования сети трещин в породе.

Такой подход был опробован в изучении влияния конструкции заряда на

Несмотря на высокий интерес промышленности к практическому применению воздушного промежутка в скважинных зарядах, механизм действия воздушного промежутка ограничивается упрощенным, качественным описанием. В работе проводится оценка влияния воздушного промежутка на разрушение породы методом численного моделирования.

характер разрушения органического стекла [3], что позволило получить качественные и количественные данные о действии ВП (Рис. 1). Таким же образом, метод численного моделирования может быть применен для оценки влияния ВП на разрушение горных пород при автоматизированной подготовке БВР.

## МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА В РАССРЕДОТОЧЕННЫХ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДАХ

На основе численного моделирования взаимодействия ВП и продуктов детонации (ПД), удалось получить подробную волновую картину как в области продуктов детонации, так и в области ВП [6-7]. Этот процесс характеризуется следующими этапами (Рис.2):

- сжатие воздуха продуктами взрыва;
- многократное отражение взрывной волны от границ раздела в области сжимаемого ВП;
- возникновение газодинамической неустойчивости на контактной поверхности между ПД и воздухом;
- формирование вторичных ударных волн;
- интенсификация перемешивания ПД и воздуха;
- формирование направленной волны сжатия, действующей на дно скважины.

Таким образом, в области ВП образуется среда, состоящая из чередующихся областей, заполненных воздухом и продуктами детонации (см. Рис.2). Поперечные и продольные ударные волны, проходя через множество областей с различным ударным импедансом, претерпевают многочисленные отражения и преломления, вследствие чего на стенки и торец скважины действуют множество импульсов давления, следующих с высокой частотой. Такие газодинамические

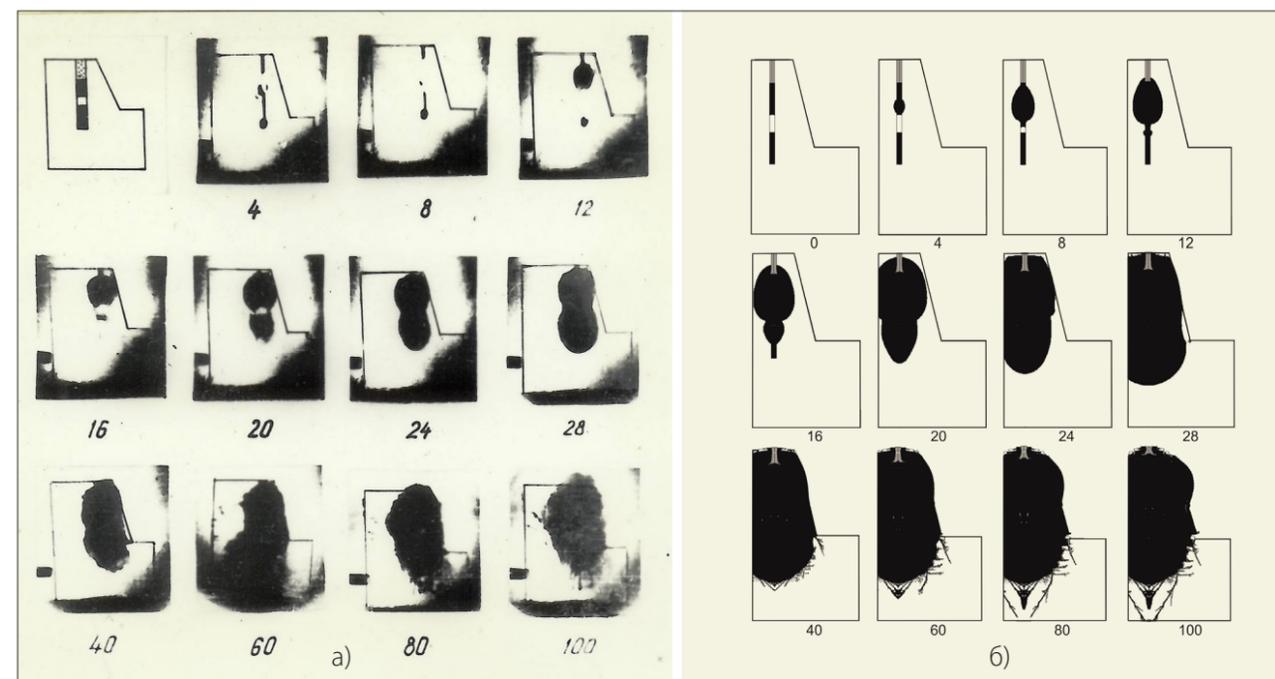


Рис. 1. Сравнение областей разрушения органического стекла для задачи взрыва ВВ рассредоточенного воздушным промежутком, с верхним инициированием на различных этапах развития процесса разрушения, время указано в мс: а) эксперимент [3], б) численное моделирование

процессы могут являться причиной высокочастотного вибрационного воздействия на породу, что приводит к формированию в породе начальной сети трещин.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА В ЗАРЯДАХ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В результате моделирования рассмотрено влияние конструкции заряда с ВП при взрыве в среднем по крепости типу породы (коэффициент крепости по Протодюконову  $f=6$ ). В качестве ВВ принят игданит. В расчете была задана скважина со следующими характеристиками: глубина скважины — 10 м, диаметр — 250 мм, перебур — 1 м, ЛНС — 5 м, забойка — 4 м. Моделировался процесс протекающий в течении 15 мс. Это время является достаточным для передачи основной энергии взрыва в горный массив и установления основной зоны разрушения.

Вначале было рассчитано воздействие сплошного заряда на горную породу, а затем проведено моделирование взрывного воздействия различных конструкций заряда с ВП длиной 1 м. Таким образом, определялся вклад ВП на характер трещинообразования в ближней зоне от заряда. В расчетах рассматривались две группы зарядов. Первая группа — заряды, конструкция которых не обеспечивает экономии ВВ. Вторая группа — заряды, конструкция которых, в том числе, обеспечивает экономию ВВ на 16 вес.%. Для каждой группы проведено моделирование следующих конструкций зарядов:

- Заряд с воздушным промежутком на дне скважины.
- Заряд в котором воздушный промежуток расположен между забойкой и ВВ.
- Рассредоточенный заряд с воздушным промежутком.

Первая группа зарядов характеризуется установлением ВП за счет увеличения перебура, либо уменьшения забойки. Масса ВВ при этом соответствовала массе ВВ сплошного заряда. ВП для конструкций второй группы устанавливается за счет уменьшения ВВ, что обеспечивает экономию на 16 вес.%.

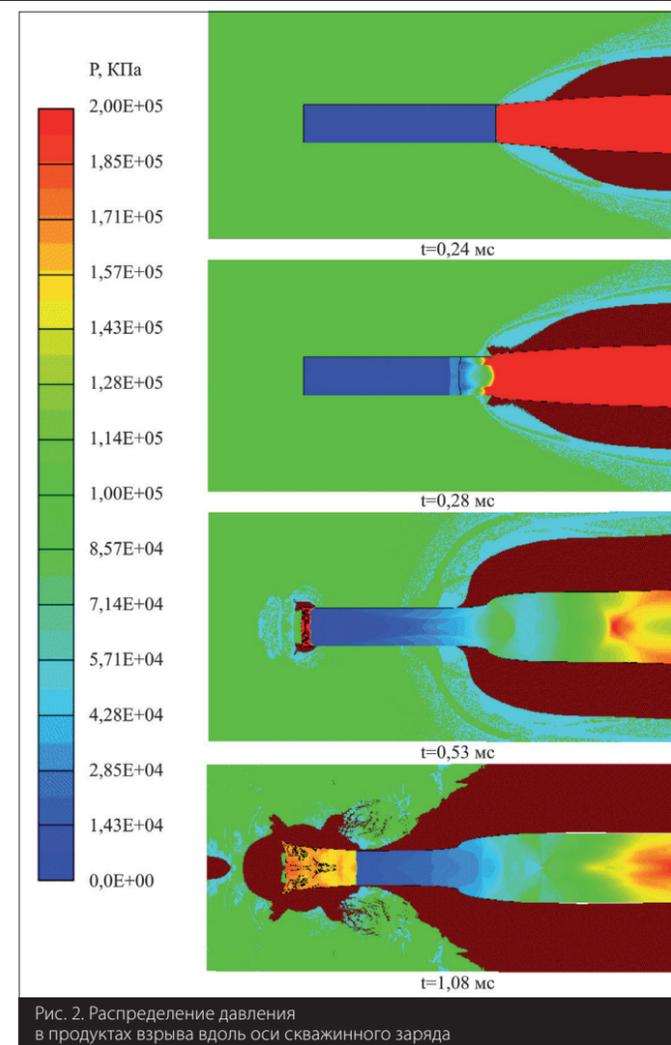


Рис. 2. Распределение давления в продуктах взрыва вдоль оси скважинного заряда

СПОНСОР СТАТЬИ



ООО «Blast Maker»  
720000 Кыргызская Республика,  
Бишкек, ул. Киевская, 44  
Тел. +996 (312) 66-01-40  
E-mail: blastmaker@istc.kg  
www.blastmaker.kg

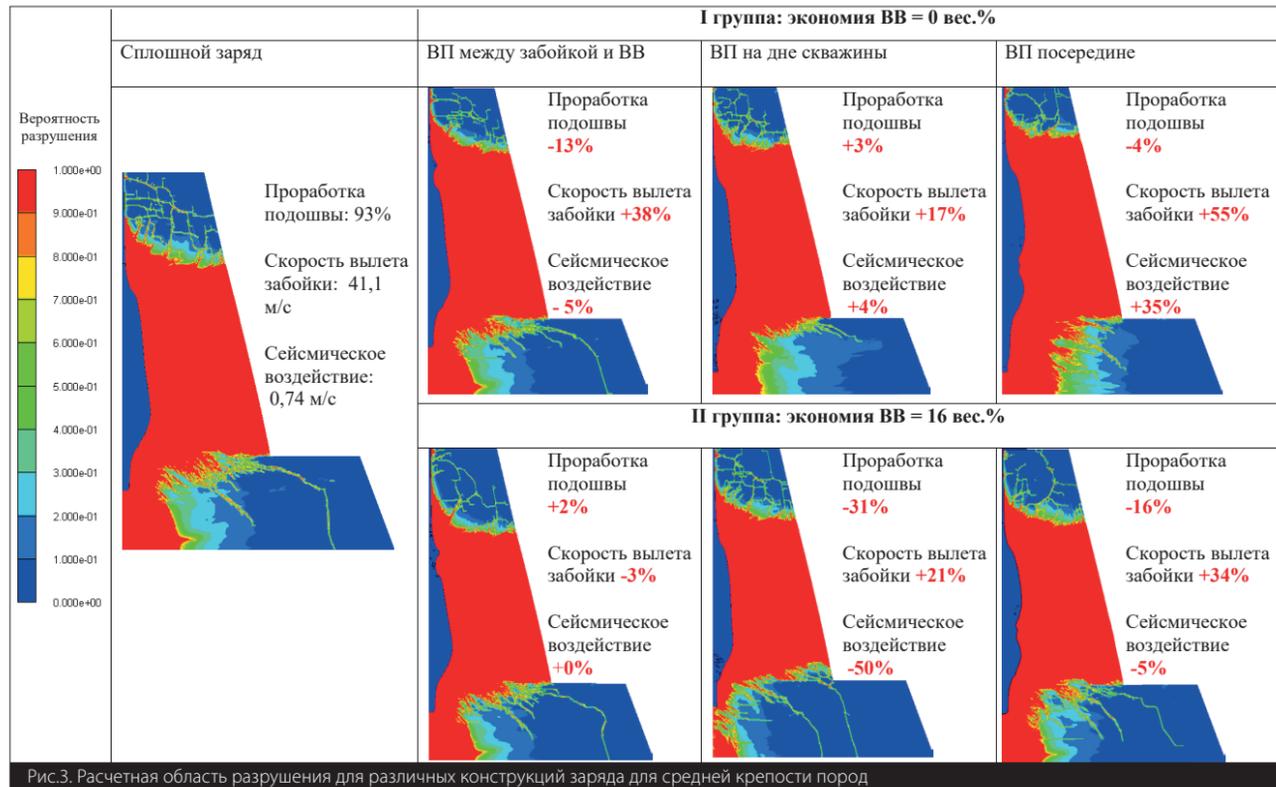


Рис.3. Расчетная область разрушения для различных конструкций заряда для средней крепости пород

Для оценки воздействия заряда на горный массив сравнивались следующие характеристики:

- степень проработки подошвы,
- скорость вылета забойки,
- сейсмическое воздействие.

Эффект оценивался относительно количественных характеристик дробления сплошным зарядом (см. Рис.3). В качестве количественной характеристики проработки подошвы было принято среднее значение вероятности разрушения породы вдоль ЛНС, а сейсмическое действие определялось средневзвешенной скоростью колебаний. Под средневзвешенной скоростью колебаний понималась средняя скорость колебаний, распространяющихся в область ниже нижней площадки уступа.

Из Рис.3 видно, что наибольший эффект влияния ВП проявляется для второй группы конструкции зарядов. Так, для заряда с ВП на дне скважины при некотором снижении проработки подошвы и увеличении скорости вылета забойки, одновременно значительно снижается сейсмическое воздействие (более чем на 50%). Примечательна конструкция заряда с ВП между забойкой и ВВ. При относительно небольшом уменьшении степени проработки верхней области массива, за счет эффекта запираания ПД повышается степень проработки подошвы и уменьшается скорость вылета забойки.

### ВЫВОДЫ

В работе приведено описание механизма действия ВП в скважинных зарядах с учетом расширенного ряда имеющих место при взрыве газодинамических эффектов и продемонстрирована возможность применения численного моделирования для оценки действия ВП в зарядах различной конструкции. На основе серии численных экспериментов показано, что качество дробления горных пород может быть отрегулировано посредством изменения относительного положения ВП в скважинных зарядах. Проведенное моделирование позволяет утверждать, что проработка подошвы, снижение скорости вылета забойки и уменьшение сейсмического воздействия достигается именно за счет использования ВП, при сокращении доли ВВ. Данные исследования открывают возможности для решения широкого спектра производственных задач по оптимизации конструкции зарядов.

Как известно, применение ВП несколько усложняет процесс заряжания. Однако, все совершенствующиеся современные технологии автоматизированного заряжания дают надежду на скорое широкое применение воздушных промежутков, поскольку как показывают современные методы численного моделирования, использование ВП позволяют решать широкий спектр производственных задач с повышенной эффективностью даже при некоторой экономии ВВ.

### Список литературы

1. Мельников Н.В. Использование энергии взрывчатых веществ и кусковатость пород при взрывных работах, Горный журнал, 1940, № 5-6, с. 61-64.
2. Мельников Н.В., Марченко Л.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда, М.: Недра, 1964, 138 с.
3. Нифадьев В.И. Управление разрушением горных пород на основе регулирования энергетических и детонационных характеристик ВВ, Автореф. дис. докт. техн. наук, М.: 1993, 39 с.
4. Жунусов К. Отбойка скальных пород зарядами с воздушной подушкой, Алма-Ата: Наука, 1979, с. 23-89.
5. Жариков И.Ф. Эффективность разрушения горных пород зарядами различных конструкций, Взрывное дело, №89, т.46, 1986, с. 31-42.
6. Нифадьев В.И., Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Комиссаров П.В., Басакина С.С. Механизм действия воздушного промежутка скважинных зарядов, Вестник Кыргызско-Российского Славянского Университета, 2017, Т.17, № 12, с. 170-174.
7. Нифадьев В.И., Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Комиссаров П.В., Басакина С.С. Газодинамическая неустойчивость при взрыве рассредоточенного воздушными промежутками скважинного заряда как причина начальной сети трещин в породе, Вестник Кыргызско-Российского Славянского Университета, 2018, Т.18, № 4, с. 175-179. ДП



В рамках автоматизированной подготовки производства компания Blast Maker® предлагает решение комплекса задач по проектированию технологических процессов

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ

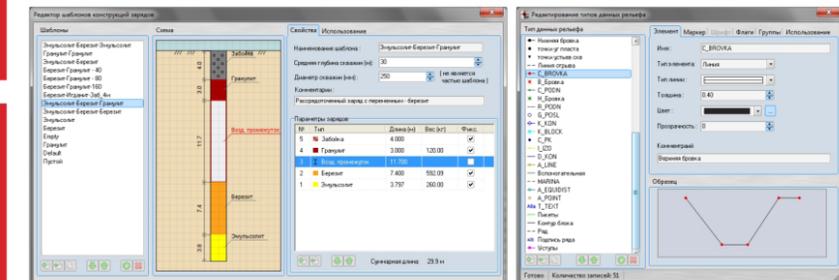
## BLAST MAKER

### ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНАЯ СХЕМА



### СОСТАВ КОМПЛЕКСА:

- Система непрерывного сбора данных с буровых станков Кобус.
- Цифровая карта поверхности карьера.
- Цифровая модель месторождения.
- Система оценки влияния характеристик взрывчатых веществ и свойств разрушаемого массива на распределение энергии взрыва.
- Модель прогнозирования зон разрушения с учетом главных параметров системы «заряд-среда».
- Система контроля технологических параметров.



### БАЗА ДАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

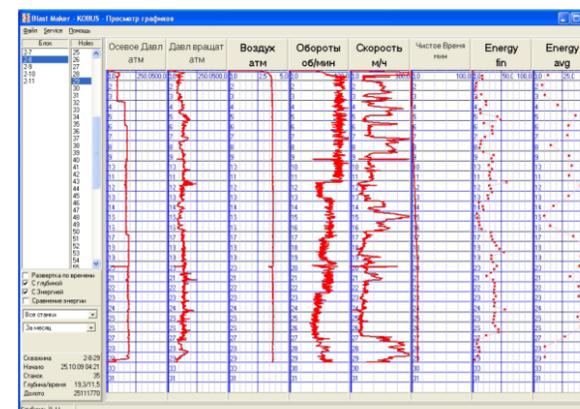
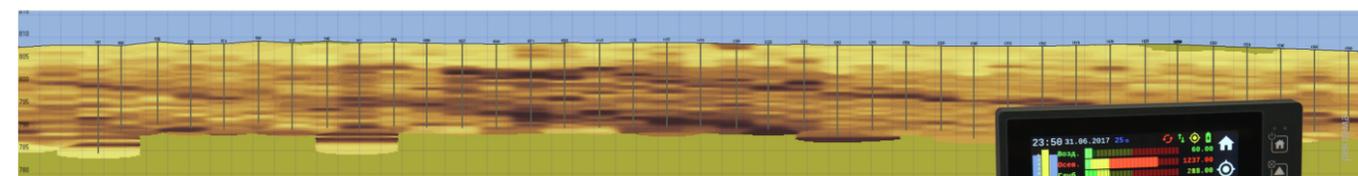
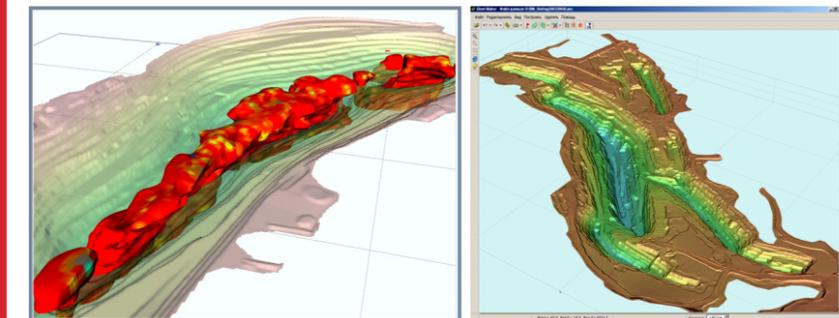
- Данные о свойствах горных пород.
- Характеристики используемых ВВ.
- Сведения о средствах КЗВ.
- Типовые схемы конструкций зарядов.
- Группы и типы профилей рельефа.
- Типы геологических данных.

### ЦИФРОВАЯ КАРТА ПОВЕРХНОСТИ КАРЬЕРА

- Построение поверхности карьера.
- Визуализация карьерного поля.
- Горно-геометрический анализ.
- Цифровая модель месторождения

### ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

- Обработка данных с бурового станка.
- 3D визуализация пространственного распределения свойств пород и рудных тел.
- Ввод и обработка данных геологических изысканий.
- Расчет средних содержаний и тоннажа ПИ.



### КОНТРОЛЛЕР СБОРА ДАННЫХ «КОБУС» ОБЕСПЕЧИВАЕТ НАВИГАЦИЮ БУРОВОГО СТАНКА НА СКВАЖИНУ И РЕГИСТРАЦИЮ:

- параметров работы бурового станка;
- глубину бурения;
- координат устья скважин и положения станка;
- углов разворота станка на плоскости;
- угла наклона мачты;
- других технологических данных бурового станка.