

УДК 622

EDN [PVKQMZ](#)



<https://www.doi.org/10.47813/rosnio-II.2023.8.127-133>

## Исследование режимов работы бурильно-крановых машин в талых грунтах

С.Н. Орловский<sup>1</sup>, С.А. Войнаш<sup>2</sup>, В.А. Соколова<sup>3\*</sup>, Ю.И. Беленький<sup>3</sup>, А.С. Кривоногова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049, Россия

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, Кремлевская ул., 18, Казань, 420111, Россия

<sup>3</sup>Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, 198095, Россия

<sup>4</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, 194021 Россия

\*E-mail: sokolova\_vika@inbox.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема использования бурильно-крановых машин при строительстве линий связи и электропередач, установке столбов ограждений и дорожных знаков, а также при строительстве мелиоративных сооружений. Приведены данные экспериментальных исследований этих машин в полевых условиях по определению рациональных режимов их работы в талых грунтах. Результате исследований установлено, что анализ предшествовавших исследований режимов бурения талых грунтов не дает четкого представления о существовании и расположении на поверхности отклика области оптимума механической скорости бурения, принятой в качестве параметра оптимизации. Подчеркивается необходимость исследований с описания участка поверхности отклика полиномом первой степени с последующим движением по его поверхности в направлении градиента линейного приближения. Приведены данные результатов опытов при бурении уплотненного суглинка буровым инструментом. Делается вывод о том, что бурение талых грунтов целесообразнее проводить на высоких частотах вращения бурового инструмента и усилиях подачи в пределах 1200 – 1700 кгс. Повышенная частота вращения бурового инструмента обеспечивает также и наилучшие условия транспортирования разрушенного грунта с забоя скважин.

**Ключевые слова:** буровые машины, рабочие органы, режимы работы, оптимизация, грунты, частота вращения, усилие.

## Study of operating modes of crane-drilling machines in thawed soils

S.N. Orlovsky<sup>1</sup>, S.A. Voynash<sup>2</sup>, V.A. Sokolova<sup>3\*</sup>, Yu.I. Belenky<sup>3</sup>, A.S. Krivonogova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira Avenue, Krasnoyarsk, 660049, Russia

<sup>2</sup> Kazan Federal University, Kremlevskayast., 18, Kazan, 420111, Russia

<sup>3</sup> Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, st. Ivana Chernykh, 4, St. Petersburg, 198095, Russia

<sup>4</sup> Saint-Petersburg State Forest Technical University, Institutskiy per., 5, St. Petersburg, 194021, Russia

\*E-mail: sokolova\_vika@inbox.ru

**Abstract.** The article deals with the problem of using crane-boring machines in the construction of communication lines and power transmission lines, the installation of fence posts and road signs, as well as in the construction of reclamation facilities. The data of experimental studies of these machines in the field to determine the rational modes of their operation in thawed soils are given. As a result of the research, it was found that the analysis of previous studies of the drilling modes of thawed soils does not give a clear idea of the existence and location on the response surface of the area of optimum drilling speed, taken as an optimization parameter. The necessity of researches is emphasized from the description of the area of the response surface by the polynomial of the first degree with the subsequent movement along its surface in the direction of the gradient of the linear approximation. The data of the results of experiments when drilling compacted loam with a drilling tool are given. It is concluded that it is more expedient to drill thawed soils at high rotational frequencies of the drilling tool and feed forces in the range of 1200 – 1700 kgf. The increased rotational speed of the drilling tool also provides the best conditions for transporting destroyed soil from the bottom of wells.

**Keywords:** drilling machines, working bodies, operating modes, optimization, soils, rotational speed, force.

## 1. Введение

Бурильно-крановые машины БМ-202, БМ-302 и БМ-303, выпускаемые Алапаевским заводом «Стройдормаш», нашли широкое применение в народном хозяйстве страны при строительстве линий связи и электропередач, установке столбов ограждений и дорожных знаков, а также при строительстве мелиоративных сооружений.

С целью дальнейшего повышения производительности этих машин и уточнения исходных данных при их проектировании были проведены в полевых условиях экспериментальные исследования по определению рациональных режимов их работы в талых грунтах.

При проведении исследований применен факторный метод поиска оптимальных условий протекания бурового процесса (метод Бокса – Уилсона [1, 2]).

## 2. Цель и задачи исследования

Анализ предшествовавших исследований режимов бурения талых грунтов [3] не дает четкого представления о существовании и расположении на поверхности отклика области оптимума механической скорости бурения, принятой нами в качестве параметра оптимизации. Поэтому исследования начинаются с описания участка поверхности отклика полиномом первой степени с последующим движением по его поверхности в направлении градиента линейного приближения. На данном этапе исследований ограничиваемся получением лишь линейных моделей, дающих достаточное приближение для практических целей, т.е. для оценки рациональных параметров режимов работы бурильно-крановых машин в талых грунтах.

Математически эта задача сводится к нахождению уравнений связи между параметром оптимизации  $V$  и регулируемыми факторами: усилием подачи  $P$  и частотой вращения бура  $n$  при постоянстве остальных факторов (диаметра и типа бурового инструмента, физико-механических свойств грунта и др.), т.е. зависимостей  $V = f(P, n)$ . Для получения линейных моделей процесса бурения использовался полный факторный эксперимент (ПФЭ) с матрицами типа  $2^{n_0}$ , где  $n_0$  – принятое количество управляемых факторов ( $n_0 = 2$ ).

### 3. Методы и материалы исследования

Исследования проводились на бурильно-крановой машине БМ-303, оснащенной комплектом бурового инструмента диаметром 0,35; 0,5 и 0,8 м в талых глинах, супесях и суглинках. Исходная информация, необходимая для составления матриц планирования, была получена в результате проведения предварительных опытов с учетом технических возможностей бурильно-крановой машины БМ-303: усилие подачи 10 ... 40 кН, частота вращения бурового инструмента 100 ... 200 об/мин, подача за цикл 0,5 ... 0,75 м.

Измерение основных параметров режима бурения произведено тензометрическим методом согласно разработанной методике [4]. Механическая скорость бурения определялась расчетным способом путем измерения отметок глубины и времени бурения, которые одновременно регистрировались на осциллограмме. Обработка материалов наблюдений произведена по специально составленной программе. Для упрощения обработки были закодированы переменные, составлены матрицы планирования полных факторных экспериментов типа  $2^2$  и затем проведены опыты. В табл.1 приведена матрица планирования ПФЭ и результаты реализации опытного бурения уплотнённого суглинка инструментом диаметром 0,5 м.

**Таблица 1.** Матрица планирования ПФЭ и результаты реализации опытного бурения уплотнённого суглинка инструментом диаметром 0,5 м.

Показатели	$X_0$	Планирование		$X_1X_2$	Параметр оптимизации			
		$X_1$	$X_2$					
Основной уровень (ОУ)		120	1300					
Интервал варьирования		20	350					
Верхний уровень (+)		140	1650					
Нижний уровень (-)		100	950					
Порядок реализации								
1	2	+						
1	3	+	-	-	+	5,72	5,55	5,63
2	1	+	+	-	-	8,21	8,45	8,33
3	4	+	-	+	-	7,07	7,81	7,44
4	2		+	+	-	10,09	1,22	10,16

Коэффициенты уравнения регрессии	7,89	1,35	0,91	0,0053
----------------------------------	------	------	------	--------

Через  $X_1$  обозначена частота вращения бурового инструмента, через  $X_2$  – усилие подачи, через  $V'$  и  $V''$  – параметр оптимизации, полученный соответственно при реализации первой и второй серии опытов, а  $V$  – среднее значение параметра оптимизации, определенное в результате двух повторений серии опытов.

#### 4. Полученные результаты

По данным экспериментальных исследований вычислены коэффициенты регрессии  $b_0, b_1, b_2, b_{1,2}$ , и ошибки в их определении. Коэффициенты  $b_{1,2}$  при эффекте взаимодействия  $X_1, X_2$  оказались несущественными, что свидетельствует о нелинейном взаимодействии между управляемыми факторами.

Полученные методом ортогонального планирования эксперимента аналитические зависимости  $V$  от  $p$  и  $R$  для проведенного опытного бурения в кодированной записи могут быть представлены в общем виде:

$$V = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (1)$$

Об относительном влиянии каждого фактора на параметр оптимизации  $V$  можно судить по полученному уравнению регрессии (1). Качественную и количественную сторону этого влияния описывают коэффициенты данного уравнения. Оно пропорционально численному значению коэффициента, стоящего перед факторами; знак свидетельствует о направлении воздействия фактора на параметр оптимизации при его увеличении. Свободный член есть средняя механическая скорость бурения по опытам. Полученные коэффициенты уравнения регрессии (1) свидетельствуют о том, что в данных грунтовых условиях частота вращения бурового инструмента по сравнению с усилием подачи оказывает более существенное влияние на рост механической скорости бурения.

Следует отметить, что для практического пользования уравнением регрессии (1) необходимо вернуться к натуральным переменным следующей подстановкой:

$$x_1 = \frac{(n - oy_1)}{\lambda_1}; x_2 = \frac{(p - oy_2)}{\lambda_2}; \quad (2)$$

где  $n, P$  – натуральные обозначения управляемых факторов;  $ou_1, ou_2$  – основные уровни для каждого фактора.

Тогда из уравнения (2) получаем

$$V = KP - Ln - N, \quad (3)$$

где  $KP, N$  – постоянные для данных условий коэффициенты регрессии.

Для определенной частоты вращения бурового инструмента и реального диапазона усилия  $P$  подачи по формуле (3) табл. 3 можно определить значения механической, скорости  $V$  бурения.

Проверка гипотезы адекватности уравнения (1) по критерию Фишера показала, что аппроксимирующая линейная функция адекватно описывает процесс в локальной области при 5% уровне значимости. Это позволило наметить серию опытов для движения в направлении градиента линейного приближения. Движение по градиенту вопреки обычному приему начато от верхнего уровня, при котором получено максимальное значение выходного параметра – механической скорости бурения.

Параметры опытов движения по градиенту и их результаты при бурении уплотненного суглинка буровым инструментом диаметром 0,5 м приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Параметры опытов движения по градиенту и их результаты при бурении уплотненного суглинка буровым инструментом диаметром 0,5 м.

<i>Опыт «шага»</i>	<i>Управляемые об/мин.</i>	<i>Параметры <math>P</math>, кгс</i>	<i>Параметр Оптимизации, м/мин</i>
1	150	1650	10,86
2	160	1650	11,26
3	170	1650	11,58
4	180	1650	11,50

Данные таблицы 2 показывают, что максимальное значение механической скорости бурения получено в третьем шаге движения по градиенту. Этот режим бурения, соответствующий частоте вращения бурового инструмента  $n = 170$  об/мин и усилию подачи 1650 кгс, с учетом ограничивающего влияния неуправляемых факторов, и является рациональным для данных грунтовых условий.

Аналогично осуществлено движение по градиенту линейного приближения при работе буровым инструментом диаметром 0,35; 0,5 и 0,8 м в других грунтовых условиях (глина, супесь, суглинок). Полученные результаты исследований приведены в таблице 3.

Характерные зависимости, полученные при бурении скважин в талых грунтах буровым инструментом диаметром 0,35; 0,5 и 0,8 м позволяют сделать заключение, что линейная зависимость механической скорости бурения от частоты вращения инструмента для фиксированных усилий подачи имеет место и за пределами ПФЭ. В связи с этим полученные математические модели справедливы и в области всего эксперимента. Проведенное опытное бурение при движении по градиенту линейного приближения дало высокую сходимость результатов с расчетными по полученным математическим моделям. При дальнейшем увеличении основных управляемых параметров математические модели не адекватны и для описания процесса бурения скважин нужно переходить к планированию более высокого порядка.

**Таблица 3.** Результаты исследований.

Основная структура грунта	Диаметр бурового инструмента, м	Рациональные режимные параметры	
		частота вращения инструмента, об/мин	усилие подачи на инструмент, кгс
Глина	0,35	170 – 180	1250 – 1350
	0,5	170 – 175	1450 – 1550
	0,8	160 – 165	1200 – 1300
Супесь	0,35	170 – 180	1350 – 1450
	0,5	170 – 175	1750 – 1850
	0,8	160 – 165	1300 – 1400
Суглинок	0,35	170 – 180	1300 – 1400
	0,5	170 – 175	1600 – 1700
	0,8	160 – 165	1200 – 1300

## 5. Выводы

Таким образом, данные таблицы 3 показывают, что бурение талых грунтов целесообразнее проводить на высоких частотах вращения бурового инструмента, соответствующих третьей передаче раздаточной коробки бурильно-крановой машины БМ-303, и усилиях подачи в пределах 1200 – 1700 кгс. Повышенная частота вращения бурового инструмента обеспечивает также и наилучшие условия транспортирования разрушенного грунта с забоя скважин [5]. Результаты проведенных исследований и

полученные математические модели процесса бурения скважин в талых грунтах могут служить базой для разработки системы автоматического регулирования режимных параметров бурильно-крановых машин.

### Список литературы

1. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: «Наука», 1965. – 320 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: «Наука», 1971. – 198 с.
3. Костылев В.П. Исследование параметров работы лопастных винтовых буров и пути совершенствования бурильно-крановых машин. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / В.П. Костылев. – Свердловск, 1969. – 191 с.
4. Бугаев В.Г. О методике определения оптимальных режимов работы бурильно-крановых машин / В.Г. Бугаев, Д.О. Макушкин, В.М. Меркулов // Сб.: «Надежность и долговечность строительных дорожных машин», Красноярск. – 1975. – вып. 2. – С. 43-49.
5. Башкатов Д.Н. Методика определения оптимальных параметров бурового шнека / Д.Н. Башкатов // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1962. – № 10. – С. 35-41.