

На правах рукописи

НЕПЛЕСКИЙ Михаил Олегович

**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО
ДИАМЕТРА В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ ШНЕКОМ
НАКОПИТЕЛЬНОГО ТИПА**

*Специальность 25.00.14 –
Технология и техника геологоразведочных работ*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

МОСКВА 2003 г.

Работа выполнена на кафедре разведочного бурения
Московского государственного геологоразведочного университета
имени Серго Орджоникидзе

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Назаров Александр Петрович

Научный консультант: кандидат технических наук, профессор
Зиняко Витольд Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кузовлев Борис Николаевич
кандидат технических наук
Кочкарев Александр Вячеславович

Ведущее предприятие: ГПП "ЦЕНТРГЕОЛОГИЯ"

Защита состоится "15" октября 2003г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.121.05 в Московском государственном геологоразведочном университете по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, дом 23 в аудитории 4-15^д.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, профессор



Назаров А.П.

2003-А
13927

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Необходимое для расширения минерально-сырьевой базы страны ускорение научно-технического прогресса связано с дальнейшим развитием горнодобывающей промышленности, прежде всего в районах действующих горных предприятий, промышленное развитие которых наиболее выгодно экономически. Для выполнения поставленных задач необходимо полностью вскрыть резервы экономики, значительно повысить производительность труда, механизировать трудоемкие операции.

В процессе поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, а также реконструкции и строительства горных предприятий сооружаются скважины большого диаметра различного назначения. Скважины большого диаметра проходятся для опробования полезных ископаемых, для вентиляции разведочных горных выработок, для спуска материалов в горные выработки, для обеспечения дополнительных выходов на земную поверхность и других целей. Также скважины большого диаметра проходят при создании подземных сооружений и фундаментов зданий.

Большая часть скважин большого диаметра, имеющих различное целевое назначение, бурятся в мягких осадочных горных породах. В настоящее время, на практике бурения скважин большого диаметра в осадочных горных породах, наибольшее распространение получил вращательный способ бурения с использованием шнеков накопительного типа.

Исследованиями, проведенными в предыдущие годы, установлены различные технико-технологические параметры процесса бурения скважин большого диаметра. В то же время вопросы, касающиеся определения затрат мощности при медленновращательном способе бурения с применением накопительных шнеков, изучены не полностью. Так, например, не выявлена зависимость крутящего момента от продолжительности рейса, оптимальное значение величины рейсовой скорости и др.

Таким образом, исследование технико-технологических параметров сооружения скважин большого диаметра в осадочных горных породах является актуальной задачей, требующей решения.

Цель работы. Целью настоящей работы является повышение эффективности процесса сооружения скважин большого диаметра с применением шнеков накопительного типа за счет оптимизации основных технологических параметров бурения.



Основная идея работы. Идея работы заключается в том, что выявленная зависимость изменения величины проходки от продолжительности рейса была заложена в основу решения оптимизационных задач по нахождению основных технологических параметров процесса бурения скважин большого диаметра.

Основные задачи исследований. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

- провести детальное исследование условий сооружения скважин большого диаметра.
- исследовать конструктивные и технологические особенности применяемого современного бурового оборудования для создания скважин большого диаметра.
- аналитически и экспериментально исследовать изменение величины крутящего момента на преодоление сил сопротивления в зависимости от продолжительности рейса.
- исследовать и установить оптимальное значение основных технологических параметров процесса бурения скважин большого диаметра.
- аналитически определить экономически обоснованную величину проходки за рейс.
- разработать практические рекомендации по совершенствованию способов бурения скважин большого диаметра в мягких горных породах.

Методика исследований. Для решения поставленных задач принят комплексный метод исследований, который включает в себя обобщение и анализ литературных источников по данной теме, проведение аналитических и экспериментальных исследований.

Правильность основных теоретических положений, возможность практической реализации предложенных решений проверялась постановкой экспериментальных наблюдений в производственных условиях при сооружении скважин большого диаметра для создания фундаментов зданий.

При проведении исследований применялась современная контрольно-измерительная аппаратура. Обработка результатов экспериментальных исследований выполнена известными методами математической статистики с применением компьютерной техники.

Достоверность защищаемых научных положений, выводов и рекомендаций обоснована теоретически и подтверждается достаточной сходимостью с результатами опытно-производственных исследований.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в том, что для бурения скважин большого диаметра в мягких горных породах шнеком накопительного типа:

1. Выявлена зависимость величины проходки от продолжительности рейса.
2. Установлена зависимость величины крутящего момента на преодоление сил сопротивления от продолжительности рейса.
3. Обоснована зависимость рейсовой скорости бурения от продолжительности рейса. Нахождение экстремума данной зависимости позволяет определять оптимальную продолжительность рейса.
4. Выявлена зависимость технико-экономических показателей сооружения скважины (стоимости сооружения скважины, суммарных затрат времени на сооружение скважины и прибыли) от технических параметров бурения. Решение оптимизационной задачи по данным критериям позволяет определять оптимальную (экономически выгодную) продолжительность рейса.

Практическая ценность: На основании теоретических и экспериментальных исследований процесса бурения скважин большого диаметра в мягких горных породах:

- Предложена зависимость, позволяющая определять значение величины крутящего момента от продолжительности рейса. Данная зависимость позволит облегчить выбор мощности привода буровых установок.
- Разработана методика, позволяющая определять значение оптимальной величины рейсовой скорости бурения и значение показателя степени, характеризующего снижение механической скорости бурения.
- Предложена зависимость для определения экономически обоснованной проходки за рейс по нескольким критериям.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях профессорско-преподавательского и аспирантского состава "Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых

на рубеже XX – XXI, Московского государственного геологоразведочного университета в 2002 г. и на международных конференциях “Новые достижения в науках о Земле” в 2001-2003 гг.

Реализация результатов работы. Эффективность предлагаемой методики определения оптимальной величины проходки за рейс была подтверждена при бурении скважин большого диаметра под буронабивные сваи на одном из производственных объектов ОАО “ВИЗБАС”.

Настоящая работа может быть использована в учебном процессе в рамках курса “Бурение специальных скважин”.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано восемь печатных работ (5 статей и 3 доклада, тезисы которых опубликованы), в которых раскрываются основные теоретические положения и результаты проведенных исследований.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка из 92 наименований. Общий объем работы 125 страниц машинописного текста, в том числе 12 таблиц, 24 рисунка.

Во введении обосновывается актуальность проводимых исследований; представлены цели, задачи и методика проведения исследований.

В первой главе рассмотрены: область применения и задачи, решаемые при бурении скважин большого диаметра; конструкции и специфика сооружения технических скважин; обзор горно-геологических условий сооружения скважин большого диаметра.

Вторая глава посвящена анализу способов, технических средств и технологических параметров процесса сооружения скважин большого диаметра в мягких горных породах. Приведены результаты исследований зависимости проходки от продолжительности рейса в производственных условиях.

В третьей главе диссертационной работы изложены вопросы теоретического исследования процесса бурения скважин большого диаметра в мягких породах. Проведен обзор и анализ теории и практики в области бурения скважин большого диаметра в мягких горных породах. Теоретически исследовано изменение величины крутящего момента, расходуемого на преодоление сил сопротивления в течение рейса. Изложены результаты

исследований по определению оптимальной величины рейсовой скорости бурения. Найдена экономически обоснованная величина проходки за рейс.

В четвертой главе представлены примеры и рекомендации по практическому использованию исследуемых технологических параметров процесса бурения скважин большого диаметра в мягких горных породах.

Диссертация выполнена на кафедре разведочного бурения Московского государственного геологоразведочного университета.

Автор выражает глубокую признательность заведующему кафедрой Разведочного бурения члену корреспонденту РАЕН, доктору технических наук, профессору Соловьеву Н.В., заслуженному деятелю науки и техники РФ, академику РАЕН, доктору технических наук, профессору Башкатову Д.Н., научному консультанту кандидату технических наук, профессору Зиненко В.П., научному руководителю кандидату технических наук, профессору Назарову А.П. за постоянное научное и методическое руководство в процессе выполнения работы.

Автор глубоко признателен всем сотрудникам кафедры Разведочного бурения МГГРУ за постоянную помощь и ценные замечания. В процессе исследований автор пользовался советами и консультациями докторов технических наук Грабчака Л.Г., Дмитриева В.В., Калинина А.Г., Ребрика Б.М., кандидатов технических наук Базанова Л.Д., Бронникова И.Д., Ганджумяна Р.А., Карпикова А.П., Куликова В.В., Маковского П.А., Пенкевича С.В., Радина А.И., Сердюка Н.И., Тунгусова А.А., Хромина Е.Д., Яшина В.П., за что им искренне благодарен.

Автор выражает глубокую признательность генеральному директору Плохих В.А. и главному инженеру Никифорову К.П. ОАО ВИЗБАС, а также директору Онищуку В.М., главному инженеру Островскому А.В. и начальнику планово-экономического отдела Гращенкову Ю.С. МТФ Мостоотряд №18 ОАО "Мостотрест" за оказанную помощь в проведении экспериментальных и теоретических исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Краткие сведения по изучаемому вопросу

В основу постановки задач и проведения аналитических исследований, составивших содержание данной диссертационной работы, легли работы отечественных и зарубежных исследователей в области разработки технологии и технических средств для геологоразведочных и горных работ, исследования работы вертикального шнекового

транспортера, исследования процесса бурения шурфоскважин в мягких горных породах и пр.: Алексеева В.В., Арифудина Б.А., Башкатова Д.Н., Борисова А.М., Бурмистрова Ю.А., Воздвиженского Б.И., Грабчака Л.Г., Кабанцева А.И., Калинина И.С., Кардыша В.Г., Кирсанова А.Н., Козловского Е.А., Кренделева В.О., Лапина Н.А., Несмотряева В.И., Олоновского Ю.А., Окмянского А.С., Попова А.Н., Ребрика Б.М., Шамшева Ф.А., Эпштейна Е.Ф. и ряда других исследователей.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями, проведенными авторами, установлены различные технико-технологические параметры процесса бурения скважин большого диаметра, в том числе необходимые условия работы шнекового транспортера, затраты мощности на процесс бурения скважин шнеками, зависимости связывающие между собой геометрические параметры шнековых буров с возможной величиной мощности. Выведены зависимости для определения усилий резания и проталкивания в бур разрушенной породы и многое другое. В то же время, вопросы, касающиеся определения затрат мощности при медленновращательном способе бурения с применением накопительных шнеков, изучены не полностью. Так, например, не разработаны зависимости, позволяющие определять величину крутящего момента от продолжительности рейса, оптимальное значение величины рейсовой скорости бурения и др.

Анализ состояния рассматриваемого вопроса дал возможность конкретизировать задачи настоящих исследований и позволил, в результате их теоретического решения и экспериментальной проверки, сформулировать следующие защищаемые положения.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение

При бурении шнеками накопительного типа зависимость проходки за рейс от продолжительности рейса рекомендуется аппроксимировать функцией имеющей степенной вид

$$l_p = a \cdot t^x \quad (1)$$

где: l_p – проходка за рейс, a – постоянная зависящая от параметров режима бурения, t – время бурения в рейсе, x – показатель степени, характеризующий интенсивность снижения величины механической скорости ($x < 1$).

При бурении шнеками накопительного типа в течение рейса происходит снижение механической скорости бурения. Оно обусловлено увеличением значения сил сопротивления, препятствующих перемещению разрушенной породы по поверхности шнека. Аппроксимация этой зависимости может быть проведена с применением функций различного вида: степенной, показательной (экспоненциальной), логарифмической и др.

При использовании в качестве аппроксимирующей функции зависимости указанного вида (1), значение мгновенной механической скорости бурения определится по выражению

$$V_M = I'_P = a \cdot x \cdot t^{x-1} \quad (2)$$

откуда средняя механическая скорость бурения

$$V_C = \frac{I_P}{t} = \frac{a \cdot t^x}{t} \quad (3)$$

и рейсовая скорость бурения

$$V_P = \frac{I_P}{t + T_{СП}} = \frac{a \cdot t^x}{t + T_{СП}} \quad (4)$$

где: $T_{СП}$ – время спуско-подъемных операций при данной глубине скважины, час.

Аналогичная задача по определению вида зависимости снижающейся механической скорости при бурении шарошечными долотами рассматривалась в работах Федорова В.С. и Эпштейна Е.Ф. Авторы предлагают использовать в качестве зависимости изменения механической скорости от продолжительности бурения, экспоненциальную зависимость вида

$$V_M = V_0 \cdot e^{-kt} \quad (5)$$

где: V_0 – величина начальной средней механической скорости бурения, м/час;

k – коэффициент интенсивности падения механической скорости во времени, 1/час.

Принтегрировав указанную функцию в пределах времени $t - 0$, можно получить известную формулу для определения проходки за рейс,

$$I_P = \int_0^t V_0 \cdot e^{-kt} dt = \frac{V_0}{k} \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (6)$$

откуда средняя скорость проходки

$$V_C = \frac{I_P}{t} = V_0 \cdot \frac{1 - e^{-kt}}{kt} \quad (7)$$

тогда рейсовая скорость бурения

$$V_P = \frac{I_P}{t + T} = V_0 \cdot \frac{1 - e^{-kt}}{k \cdot (t + T)} \quad (8)$$

Сравнивая приведенные выше зависимости, можно сделать вывод о том, что зависимость (1) менее громоздкая и поэтому ее целесообразно использовать для решения оптимизационных задач по определению основных технологических показателей процесса бурения скважин большого диаметра. Например, при поиске экстремума функции рейсовой скорости бурения

$$V_p = \frac{H}{t + T_{сш}} \quad (9)$$

где $H = H(t)$ – величина проходки за рейс, как функция времени, м;

Принимая для описания проходки за рейс выражение (1), определив первую производную функции (4), определяем оптимальную продолжительность рейса, при которой функция рейсовой скорости принимает максимальное значение

$$t_{опт} = \frac{T_{сш} \cdot x}{1 - x} \quad (10)$$

Соотношение (10) говорит о том, что оптимальная рейсовая скорость бурения не зависит от начальной механической скорости бурения – a и определяется временем спуско-подъемных операций и интенсивностью снижения величины механической скорости.

Принимая для описания проходки за рейс выражение (6), определим первую производную функции (8). Оптимальная продолжительность рейса, при которой функция рейсовой скорости принимает максимальное значение, может быть найдена лишь при приближительном решении трансцендентного уравнения вида

$$kt + kT + 1 = e^{-kt} \quad (11)$$

Основываясь на приведенных выше рассуждениях, можно сделать вывод о том, что применение выражения (1) позволяет привести решение некоторых оптимизационных задач, приведенных в общем, виде, к виду удобному для инженерных расчетов.

Второе защищаемое положение

При бурении шнеками накопительного типа оптимальная величина проходки за рейс определяется величиной начальной механической скорости, затратами времени на проведение спуско-подъемных операций и интенсивностью снижения величины механической скорости.

При бурении скважин шнековым способом с применением в качестве бурового инструмента шнеков накопительного действия, механическая скорость бурения снижается.

Снижение скорости бурения обусловлено возникающими дополнительными силами сопротивления, которые препятствуют перемещению разрушенной горной породы в межвитковое пространство шнека. Важнейшей задачей является определение оптимальной рейсовой проходки, либо производной от этой величины – оптимальной рейсовой скорости.

Одним из примеров решения оптимизационных задач в бурении является поиск оптимальной рейсовой скорости бурения (рис. 1).

$$V_P = \frac{H}{t + T_{СП}} \quad (12)$$

где: $H = H(t)$ – величина проходки за рейс, м; t – время “чистого” бурения, час;
 $T_{СП}$ – время спуско-подъемных операций при данной глубине скважины, час.

Эта функция зависит от времени бурения и при некотором времени $t_{ОПТ}$ имеет экстремальное (максимальное) значение. Указанное время получило название оптимального. Нахождение максимума функции при условии снижения проходки в течение рейса приводится в виде:

$$V_{P,MAX} = V_{МЭХ ТЕК} = \frac{dH}{dt} \quad (13)$$

где $V_{МЭХ ТЕК}$ – текущая механическая скорость бурения, м/час.

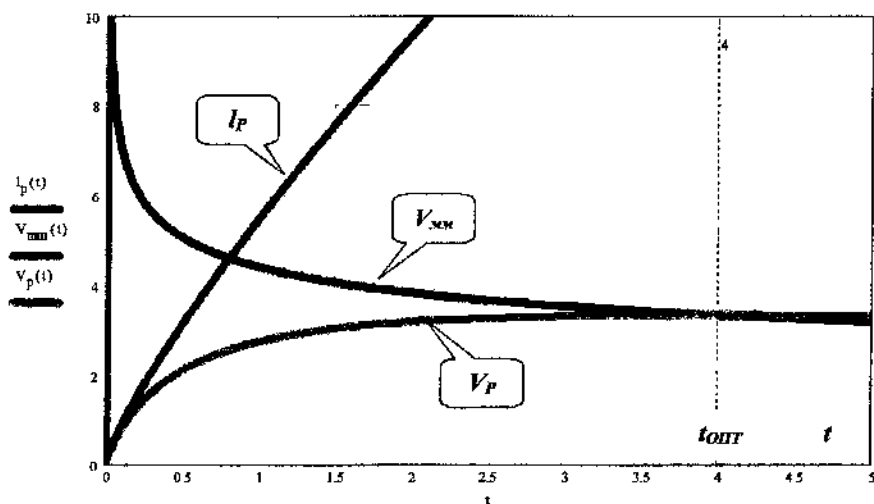


Рис. 1. График зависимости проходки за рейс, мгновенной механической и рейсовой скоростей бурения от продолжительности рейса.

Практика бурения скважин под буронабивные сваи показывает, что проходка за рейс, в данном случае, может быть описана функцией вида:

$$l_p = a \cdot t^x \quad (14)$$

Тогда текущая механическая скорость бурения находится как

$$l'_p = V_{\text{мех}} = a \cdot x \cdot t^{x-1} \quad (15)$$

где a – “начальная” средняя механическая скорость бурения, при значении времени $t = 1$ час.

С точки зрения размерности выражение (15) удобнее записать в виде

$$l'_p = V_{\text{мех}} = a \cdot x \cdot \frac{t^x}{t} \quad (16)$$

Исходное соотношение (12) с учетом выражения (14) принимает вид

$$V_r = \frac{a \cdot t^x}{t + T_{\text{сп}}} \quad (17)$$

Определив первую производную функции (17), находим условие, при котором рейсовая скорость принимает максимальное значение:

$$\frac{\partial V_r}{\partial t} = \frac{(t + T_{\text{сп}}) \cdot a x t^{x-1} - a t^x \cdot 1}{(t + T_{\text{сп}})^2} = 0 \quad (18)$$

Так как $(t + T_{\text{сп}}) \neq 0$, то, приравняв числитель к нулю, имеем во первых,

$$\frac{a t^x}{t + T_{\text{сп}}} = a x t^{x-1} \quad \text{т.е.} \quad V_{r, \text{мех}} = V_{\text{мех}}$$

а, во вторых, что главное

$$(t + T_{\text{сп}}) x t^{x-1} - t^x = 0 \quad (19)$$

Соотношение (19) говорит о том, что оптимальная продолжительность рейса не зависит от начальной механической скорости бурения – a и определяется по вытекающему соотношению:

$$t_{\text{опт}} = \frac{T_{\text{сп}} \cdot x}{1 - x} \quad (20)$$

Оптимальное время бурения, при котором функция рейсовой скорости принимает максимальное значение, определяется только затратами времени на проведение спуско-подъемных операций и интенсивностью снижения величины механической скорости.

Тогда оптимальная проходка за рейс, с учетом (20)

$$l_{p, \text{опт}} = a \cdot \left(\frac{T_{\text{сп}} \cdot x}{1 - x} \right)^x \quad (21)$$

Оптимальное проходка за рейс, при которой функция рейсовой скорости принимает максимальное значение, определяется начальной механической скорости бурения, затратами времени на проведение спуско-подъемных операций и интенсивностью снижения величины механической скорости.

Тогда оптимальная рейсовая скорость

$$V_{p,опт} = \frac{a \cdot \left(\frac{x \cdot T_{сп}}{1-x} \right)^k}{\frac{x \cdot T_{сп}}{1-x} + T_{сп}} \quad (22)$$

и оптимальная средняя механическая скорость

$$V_{мех\ ср.опт} = \frac{l_{p,опт}}{t_{p,опт}} = a \cdot x^{k-1} \cdot \left(\frac{T_{сп}}{1-x} \right)^{k-1} \quad (23)$$

Предлагается методика нахождения некоторых конкретных оптимизационных параметров процесса бурения: рейсовой скорости, проходки за рейс и т.п., когда принята или установлена функция: $l_p = f(t)$.

Данная методика может быть использована и для случая снижения механической скорости, за счет затупления породоразрушающего инструмента.

Третье защищаемое положение

При бурении шнеком накопительного типа величина крутящего момента на преодоление возникающих сил сопротивления, зависит от продолжительности рейса и описывается следующим соотношением

$$M_{\Sigma} = A + Bt \quad (24)$$

где: A – составляющая суммарного крутящего момента независимая от продолжительности рейса; B – составляющая суммарного крутящего момента, зависящая от продолжительности рейса; t – продолжительность рейса.

Суммарную величину крутящего момента, определяемую составляющими, можно выразить, как (рис. 2):

$$M_{\Sigma} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \quad (25)$$

где: M_1 – величина крутящего момента, затрачиваемого на преодоление сил трения между торцом режущего элемента и горной породой забоя; M_2 – величина крутящего момента, затрачиваемого на преодоление сил сопротивления, вызванных перемещением разрушенной горной породы по поверхности реборды и на разрушение горной породы; M_3 – величина

крутящего момента, затрачиваемого на преодоление сил сопротивления, вызванных увеличением осевой нагрузки за счет поступления разрушенной горной породы на реборду; M_4 – величина крутящего момента, затрачиваемого на преодоление сил сопротивления, вызванных силами трения между разрушенной горной породой и стенками скважины.

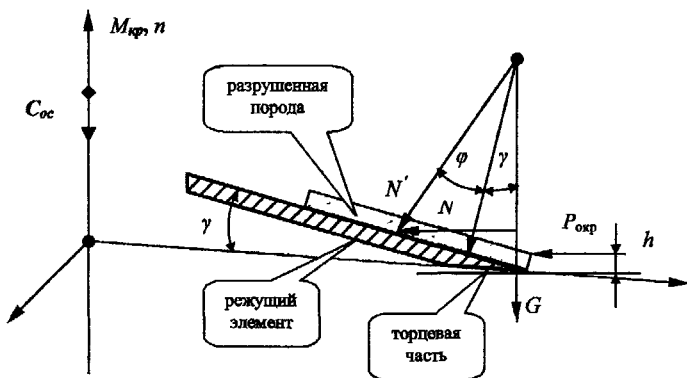


Рис. 2. К определению суммарного крутящего момента затрачиваемого в рейсе.

Значение первой составляющей суммарного крутящего момента может быть выражено зависимостью

$$M_1 = \mu \cdot C_{ос} \cdot \frac{1}{2} \cdot R \quad (26)$$

где: μ – коэффициент трения; $C_{ос}$ – величина проектной осевой нагрузки [Н];

R – радиус шнека [м];

Анализ зависимости (26) показывает, что данная составляющая суммарного крутящего момента, определяемая величиной начальной осевой нагрузки, постоянна во времени и не зависит от продолжительности рейса (при условии постоянства значения величины $C_{ос}$).

Рассмотрим вторую составляющую суммарного крутящего момента, расходуемую на преодоление сил сопротивления, вызванных перемещением разрушенной горной породы по поверхности реборды и разрушение горной породы. Данная составляющая начинает оказывать влияние в момент формирования режущим элементом породной стружки, постепенно надвигающейся на реборду.

Значение второй составляющей суммарного крутящего момента приведено в виде:

$$M_2 = \kappa_1 \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \frac{n}{60} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi) \cdot \frac{2}{3} \cdot R \cdot t \quad (27)$$

где: κ_1 – опытный коэффициент, учитывающий увеличение крутящего момента, затрачиваемого на разрушение целика горной породы ($\kappa_1 = 1,1 - 1,2$); d – диаметр шнека [м]; h – толщина срезаемого за оборот слоя горной породы [м]; ρ – удельный вес горной породы [Н/м^3]; n – число оборотов бурильного вала [об/мин]; γ – угол наклона оси режущего элемента к горизонту [град]; φ – угол трения [град].

Анализ зависимости (27) показывает, что данная составляющая суммарного крутящего момента, определяемая как величиной начальной осевой нагрузки, так и величиной нагрузки от увеличивающейся массы, разрушенной горной породы, не постоянна во времени и напрямую зависит от продолжительности рейса.

Рассмотрим третью составляющую суммарного крутящего момента, расходуемую на преодоление сил сопротивления вызванных увеличением осевой нагрузки за счет поступления разрушенной горной породы на реборду. Данная составляющая также оказывает свое влияние в момент формирования режущим элементом породной стружки, постепенно надвигающейся на реборду. Но в отличие от второй составляющей, учитывает усилия, возникающие под торцом между породой и режущим элементом.

Составляющая крутящего момента может быть представлена зависимостью:

$$M_3 = \mu \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{1}{2} \cdot R \cdot t \quad (28)$$

Анализируя зависимость (28) можно сделать вывод о том, что данная составляющая затрат крутящего момента напрямую зависит от продолжительности рейса и определяется весом массы породы, поступающей на реборду шнека в течение рейса.

Рассмотрим четвертую составляющую суммарного крутящего момента, расходуемую на преодоление сил сопротивления, вызванных силами трения между разрушенной горной породой и стенками скважины (по боковой поверхности). Действие данной составляющей проявляется в тот момент, когда разрушенная горная порода, отделившись от массива и переместившись в полость шнекового бура, взаимодействует со стенками скважины. При этом перемещенная в бур порода создает давление, как на стенки скважины, так и на вновь поступающие слои разрушенной породы. Вышеуказанная ситуация приводит к повторному переуплотнению разрушенной породы и возникновению значительных сил сопротивления по боковой поверхности, которые в свою очередь могут являться причиной значительного увеличения крутящего момента.

С учетом вышеизложенного, в окончательном виде составляющая крутящего момента может быть представлена в виде:

$$M_4 = k_2 \cdot \mu \cdot \rho \cdot h^2 \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot n}{\cos \gamma \cdot 60} \cdot R \cdot t \quad (29)$$

где: k_2 – коэффициент, учитывающий сопротивление горной породы по боковой поверхности ($k_2 = 0,1 - 0,5$).

Анализ полученной зависимости (29) показывает, что данная составляющая суммарного крутящего момента, определяемая величиной нагрузки от увеличивающейся массы, разрушенной горной породы, зависит от продолжительности рейса и обуславливает рост величины крутящего момента

Рассмотрим пятую составляющую суммарного крутящего момента, расходуемую на преодоление сил сопротивления, вызванных действием центробежных сил перемещающейся по реборде разрушенной горной породы. При исследовании изменения величины крутящего момента в рейсе, в данной методике не было учтено влияние центробежных сил на процесс перемещения в полость шнекового бура разрушенной горной породы. Данное обстоятельство можно объяснить незначительным влиянием этих сил для условий медленновращательного бурения скважин большого диаметра шнековым буровым инструментом накопительного типа.

Величина суммарного крутящего момента, затрачиваемого на преодоления возникающих сил сопротивления, с учетом (26), (27), (28) и (29), может быть определена из следующего выражения:

$$M_z = \mu \cdot \left(C_{oc} + \rho \cdot h \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot n}{240} \cdot t \right) \cdot \frac{R}{2} + k_1 \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi) \cdot \rho \cdot h \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot n}{240} \cdot \frac{2R}{3} \cdot t + k_2 \cdot \mu \cdot \rho \cdot h^2 \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot n}{\cos \gamma \cdot 60} \cdot R \cdot t. \quad (30)$$

Опираясь на изложенные выше рассуждения, можно рекомендовать выражение (30) для определения величины крутящего момента, затрачиваемого на процесс бурения, от продолжительности длины рейса

Четвертое защищаемое положение

При бурении шнеками накопительного типа оптимальную продолжительность рейса целесообразнее определять по критерию минимальных затрат времени на сооружение скважины

Оценка эффективности и управление процессом бурения, может проводиться по различным оценочным и управляющим величинам – критериям, в том числе, по минимальной стоимости бурения, по минимальным затратам времени на сооружение скважины и по максимальной прибыли. При помощи этих критериев можно решить обратную оптимизационную задачу по нахождению оптимальной проходки за рейс для условий медленновращательного бурения шнековым инструментом накопительного типа.

В качестве изменяемого (управляющего) параметра можно рассматривать или величину проходки за рейс или продолжительность рейса, связанные между собой определенной зависимостью. Теория и практика буровых работ показывает, что эта зависимость может быть выражена функцией вида

$$l_p = a \cdot t_p^x \quad (\text{при } x < 1) \quad (31)$$

где l_p – проходка за рейс, м; a – постоянная зависящая от параметров режима бурения, t_p – время бурения в рейсе, которое может быть определено по критериям оптимизации процесса (далее время бурения в рейсе), x – показатель степени. Определим оптимальную проходку за рейс по трем вышеуказанным критериям.

Первый критерий – стоимость сооружения скважины S_{Σ} (ед.).

Стоимость сооружения скважины S_{Σ} может быть выражена

$$S_{\Sigma} = S_{\text{элэн}} + S_{\text{чб}} + S_{\text{сло}} + S_{\text{ощ}} + S_{\text{зок}} \quad (32)$$

где $S_{\text{элэн}}$, $S_{\text{чб}}$, $S_{\text{сло}}$, $S_{\text{ощ}}$, $S_{\text{зок}}$ – стоимость затрат электроэнергии; стоимости затрат времени: чистого бурения; операций спуско-подъема бурового инструмента; очистки шнека и задавливания секции обсадной колонны.

Если известна стоимость 1 киловатт часа – q_1 и 1 ч работы буровой установки – q_2 , то стоимость сооружения скважины по всем технологическим операциям с отдельным учетом затрат электроэнергии в рейсе, может быть записана в виде:

$$S_{\Sigma} = q_1 \int_0^L N_{\text{эвр}} dt \frac{L}{l_p} + q_2 \frac{L}{l_p} t_p + q_2 \frac{L^2}{2l_p V_{\text{сло}}} + q_2 \frac{L}{l_p} t_{\text{ощ}} + q_2 \frac{L}{2l_p} t_{\text{зок}} \quad (33)$$

где: L – конечная глубина скважины, l_p – проходка за рейс, t_p – время бурения в рейсе,

$t_{\text{очи}}$ – время очистки шнека, $t_{\text{зок}}$ – время задавливания секции обсадной колонны,
 $V_{\text{спл}}$ – скорость спуско-подъемных операций, $N_{\text{бур}}$ – мгновенные затраты мощности.

Основываясь на опытных данных, с определенной долей уверенности, можно сказать что $N_{\text{бур}}$ является функцией затрат времени в рейсе, и близка к виду

$$N_{\text{бур}} = A + Bt^x \quad (y \geq 1, t - \text{var}) \quad (34)$$

Тогда затраты электроэнергии в рейсе

$$\int_0^t (A + Bt^x) dt \quad (35)$$

где: A – постоянные затраты мощности, не зависящие от времени бурения в рейсе,
 B – переменные затраты мощности, зависящие от продолжительности рейса,
 t – текущее время, y – показатель степени.

Тогда, приближенно принимая для расчетов $t_{\text{очи}}$ и $t_{\text{зок}}$ равным t_p , зависимость (33) с учетом (31), (34) и (35) имеет вид

$$S_x = \frac{L}{c} q_1 \left(At^{1-x} + \frac{B}{y+1} t^{y+1-x} \right) + q_2 \frac{L}{c} t^{1-x} + q_2 \frac{L^2}{2cV_{\text{спл}}} t^{-x} + q_2 \frac{L}{c} t^{1-x} + q_2 \frac{L}{2c} t^{1-x} \quad (36)$$

Для данной глубины стоимость всей скважины (36) – функция одной из возможных переменных – t (t_p). Ищем минимум значения функции (рис. 3), S_x при

$$\frac{\partial S_x}{\partial t} = 0 \quad (37)$$

Критерием эффективности бурения в данном случае будет минимальная стоимость сооружения скважины – функция затрат времени в рейсе при всех прочих постоянных.

Минимум стоимости скважины можно найти численным методом из уравнения (38), полученного из решения (36) с учетом (37), по переменной величине оптимального времени бурения в рейсе.

$$(1-x) \left(q_1 A + 2,5 q_2 \right) = \frac{1}{t_{\text{опт1}}} \left(q_2 \frac{L}{2V_{\text{спл}}} x - q_1 \frac{y+1-x}{y+1} B t_{\text{опт1}}^{y+1} \right) \quad (38)$$

Отметим, что расчетное значение оптимального времени бурения в рейсе (38), при котором необходимые затраты на бурение всей скважины будут минимальны, не зависит напрямую от значения коэффициента – a (начальной механической скорости бурения), которое необходимо установить при анализе (36).

Естественно, значение a должно быть ограничено допустимой величиной t_p , не приводящей к аномальному износу бурового и породоразрушающего инструмента.

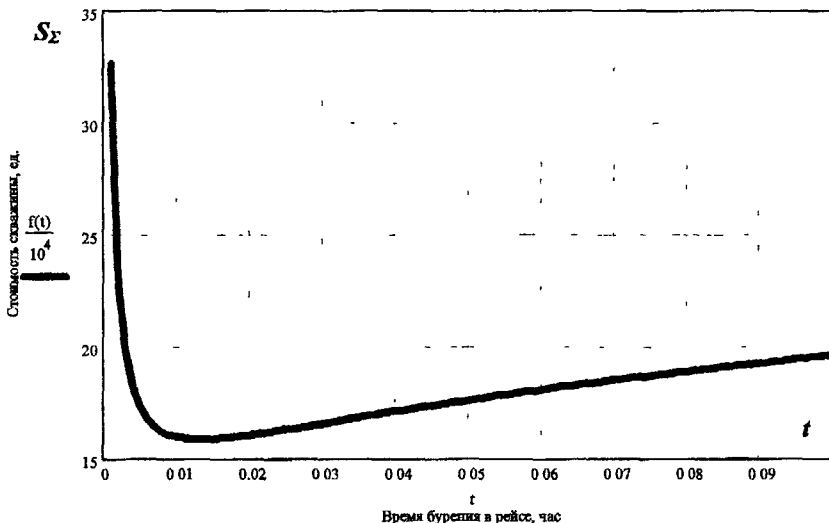


Рис. 3. График зависимости себестоимости бурения скважины от времени бурения в рейсе.

Второй критерий – минимальные затраты времени на сооружение скважины T_{Σ} (ч).

Запишем критерий T_{Σ} по всем технологическим операциям

$$T_{\Sigma} = T_{чб} + T_{СПО} + T_{ОШ} + T_{ЗОК} \quad (39)$$

где $T_{чб}$; $T_{СПО}$; $T_{ОШ}$; $T_{ЗОК}$ – затраты времени: чистого бурения; операций спуско-подъема, очистки шнека и задавливания секции обсадной колонны.

Или в принятых обозначениях

$$T_{\Sigma} = \frac{L}{l_P} t_P + \frac{L^2}{2l_P V_{СПО}} + \frac{L}{l_P} t_{ОШ} + \frac{L}{2l_P} t_{ЗОК} \quad (40)$$

Или в принятых обозначениях с учетом $t_{ОШ}$ и $t_{ЗОК}$ принятых равными t_P , зависимость (40) с учетом (31) имеет вид

$$T_{\Sigma} = \frac{L}{c} t^{1-X} + \frac{L^2}{2cV_{СПО}} t^{-X} + \frac{L}{c} t^{1-X} + \frac{L}{2c} t^{1-X} \quad (41)$$

Для данной глубины затраты времени на сооружение скважины (41) – функция одной из возможных переменных – t (t_P). Ищем минимум значения функции (рис. 4) T_{Σ} при

$$\frac{\partial T_{\Sigma}}{\partial t} = 0 \quad (42)$$

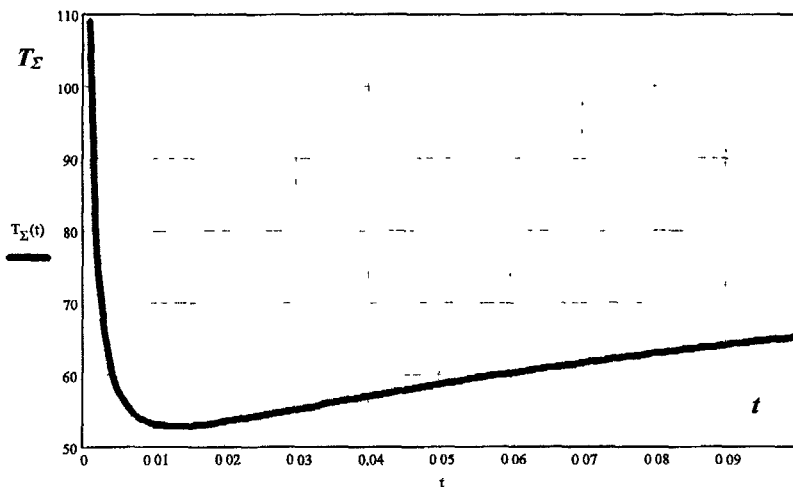


Рис. 4. График зависимости суммарных затрат времени на бурение скважины от продолжительности рейса.

Критерием эффективности бурения в данном случае будут минимальные затраты времени на сооружения скважины – функция затрат времени в рейсе при всех прочих постоянных.

Поиск функции T_{Σ} , стремящейся к минимуму дает

$$t_{opt2} = \frac{L \cdot x}{5 \cdot V_{cno} (1-x)} \quad (43)$$

В данном случае расчетное значение оптимального времени бурения в рейсе (43), при котором необходимые затраты времени на бурение всей скважины будут минимальны, также не зависит напрямую от значения коэффициента – a . Отметим, что в данном случае справедливы ограничения к формуле (38).

Третий критерий – прибыль – Φ . (ед./ч). Оценивать эффективность бурения по этому критерию можно при выполнении заказных буровых работ с возможной предварительной оценкой стоимости 1 м бурения S_1 . Когда предварительная оценочная стоимость 1 м бурения больше, чем возможная минимальная стоимость. В этом случае появляется возможность, варьируя технологические параметры режима бурения, найти такую величину возможных затрат времени в рейсе, при которой будет очевидно влияние не только стоимостных, но одновременно и временных факторов.

Запишем критерий Φ (рис. 5) в принятых обозначениях как отношение разницы между договорными затратами и стоимостью сооружения скважины, к величине общих затрат времени на сооружение скважины.

$$\Phi = \frac{D - \left(\frac{L}{c} q_1 \left(A t^{1-x} + \frac{B}{y+1} t^{y+1-x} \right) + q_2 \frac{L}{c} t^{1-x} + q_2 \frac{L^2}{2cV_{\text{сво}}} t^{-x} + q_2 \frac{L}{c} t^{1-x} + q_2 \frac{L}{2c} t^{1-x} \right)}{\frac{L}{c} t^{1-x} + \frac{L^2}{2cV_{\text{сво}}} t^{-x} + \frac{L}{c} t^{1-x} + \frac{L}{2c} t^{1-x}} \quad (44)$$

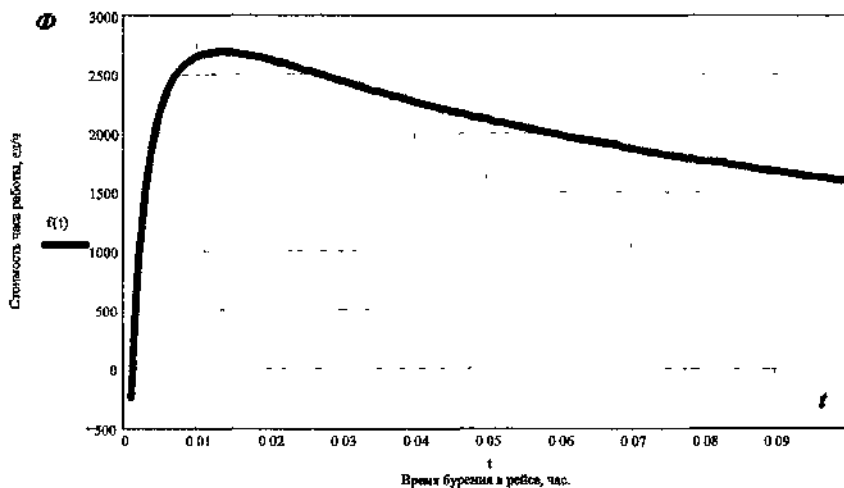


Рис. 5 График зависимости суммарных затрат времени на бурения скважины от продолжительности рейса.

Считаем данный технологический процесс эффективным, если функция (44) будет максимальна. Поиск функции Φ (при $D > S_{\Sigma}$), стремящейся к максимуму при $\partial\Phi/\partial t = 0$, дает еще одно расчетное значение оптимального времени бурения в рейсе $t_{\text{опт } \Phi}$, при котором стоимость 1 ч работы будет максимальна.

При анализе функции (38) установлено, что величина $t_{\text{опт } \Phi}$ не определяются значением величины коэффициента a (начальной механической скорости бурения). Отметим, что в данном случае справедливы замечания и ограничения к формуле (38).

Необходимо отметить, что при определении оптимального времени в рейсе по критериям S_{Σ} , T_{Σ} и Φ были получены идентичные результаты. На основании них можно сделать вывод о том, что для данного технологического процесса в качестве главенствующего критерия управления следует избрать минимальные затраты времени на

сооружение скважины -- T_{Σ} . Данный критерий позволяет предварительно рассчитывать тактическое изменение параметров режима бурения в зависимости от ряда переменных для конкретных геолого-технических условий. Так как стоимостные критерии и критерии, учитывающие одновременно и временные факторы оказывают, при данной технологической схеме, незначительное влияние на исследуемый параметр. По нашему мнению, для сведения общих затрат на сооружение скважины (по данной технологической схеме) к минимуму, необходимо выбрать такой режим бурения, который бы обеспечил максимально возможное значение начальной механической скорости бурения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований процесса бурения скважин большого диаметра в мягких породах представлены следующие основные выводы:

1. Проведен обзор горно-геологических условий сооружения скважин большого диаметра.
2. Представлен анализ современных конструкций скважин большого диаметра и бурового оборудования применяемого для их сооружения.
3. Установлена зависимость величины крутящего момента на преодоление сил сопротивления, от продолжительности рейса. Исследованиями установлено, что суммарная величина крутящего момента, затрачиваемого на преодоление сил сопротивления, определяется составляющими, как зависящими, так и не зависящими от продолжительности рейса. Доказана незначительная роль инерционных сил, возникающих при перемещении разрушенной горной породы по реборде шнека в общем балансе затрат крутящего момента. Предложена методика определения зависимости изменения величины крутящего момента от продолжительности рейса. Данная методика предназначена для условий медленновращательного бурения с использованием шнека накопительного действия.
4. Приведено частное решение задачи по нахождению основных оптимизационных параметров процесса бурения: оптимальной рейсовой скорости бурения, проходки за рейс и т.п., когда принимается или устанавливается вид зависимости проходки за рейс от времени бурения.

Установлено, что оптимальное время бурения, при котором функция рейсовой скорости принимает максимальное значение, определяется только затратами времени на проведение спуско-подъемных операций и интенсивностью снижения величины механической скорости. Предложен алгоритм, позволяющий определять для конкретных усредненных условий или текущего рейса показатель, характеризующий интенсивность снижения величины механической скорости. Данная методика может быть использована и для условий бурения, например в случае снижения механической скорости, за счет затупления породоразрушающего инструмента.

5. Проведена оценка эффективности медленновращательного способа бурения с использованием шнека накопительного действия по критериям: себестоимости бурения скважины; суммарным затратам времени на сооружение скважины и прибыли. Исследования позволили выработать и предложить методику определения экономически обоснованной продолжительности рейса и производной от нее оптимальной проходки за рейс, оптимальной по вышеуказанным критериям. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что для данного технологического процесса в качестве главенствующего критерия управления следует избрать минимальные затраты времени на сооружение скважины – T_{Σ} . Данный критерий позволяет предварительно рассчитывать тактическое изменение параметров режима бурения в зависимости от ряда переменных для конкретных геолого-технических условий.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Неплевский М.О. Способы сооружения скважин при создании фундаментов зданий и подземных сооружений. Научно-методический журнал. Известия высших учебных заведений: Геология и разведка. 2002г. №2.
2. Неплевский М.О. Анализ буровых способов сооружения фундаментов зданий в условиях плотной городской застройки. Научно-методический журнал. Известия высших учебных заведений: Геология и разведка 2003г. №2.
3. Неплевский М.О. Частное решение оптимизационной задачи по нахождению оптимальной рейсовой скорости. Научно-методический журнал. Известия высших учебных заведений: Геология и разведка 2003г. №3.

4. Неплевский М.О. Решение оптимизационной задачи при выборе величины проходки за рейс для условий медленноротационного бурения шнековым инструментом установками Вауег. Научно-методический журнал. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка 2003г. №4.
5. Неплевский М.О. Исследование изменения величины крутящего момента в течение рейса при бурении скважин шнеком накопительного типа. Научно-методический журнал. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.2003г. №5.
6. Неплевский М.О. Технология сооружения инженерных скважин при создании фундаментов зданий. //Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых в начале XXI века. Тезисы докладов конференции. Москва, МГГРУ, 2002 г.
7. Неплевский М.О. Современные способы сооружения фундаментов зданий в условиях плотной городской застройки. Научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых МГГРУ “Молодые наукам о земле”. Тезисы докладов конференции. Москва, МГГРУ, 2002 г.
8. Неплевский М.О. Анализ применения различных типов шнекового инструмента при сооружении буровых свайных фундаментов. Научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых МГГРУ “Молодые наукам о земле”. Тезисы докладов конференции. Москва, МГГРУ, 2002 г.

Подписано в печать 04.09.2003. Формат 60×90/16. Бумага офсетная
П. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 986



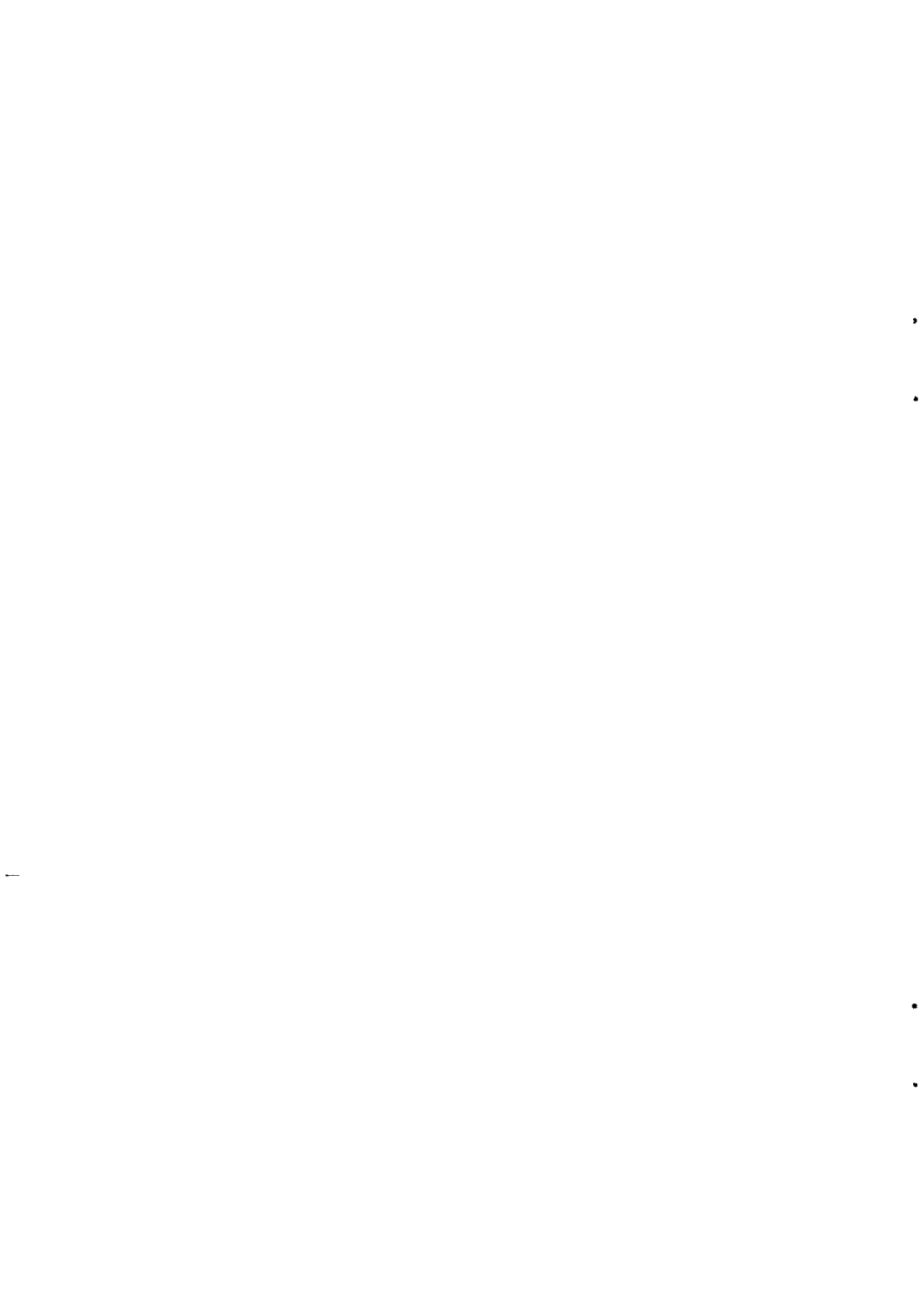
**ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

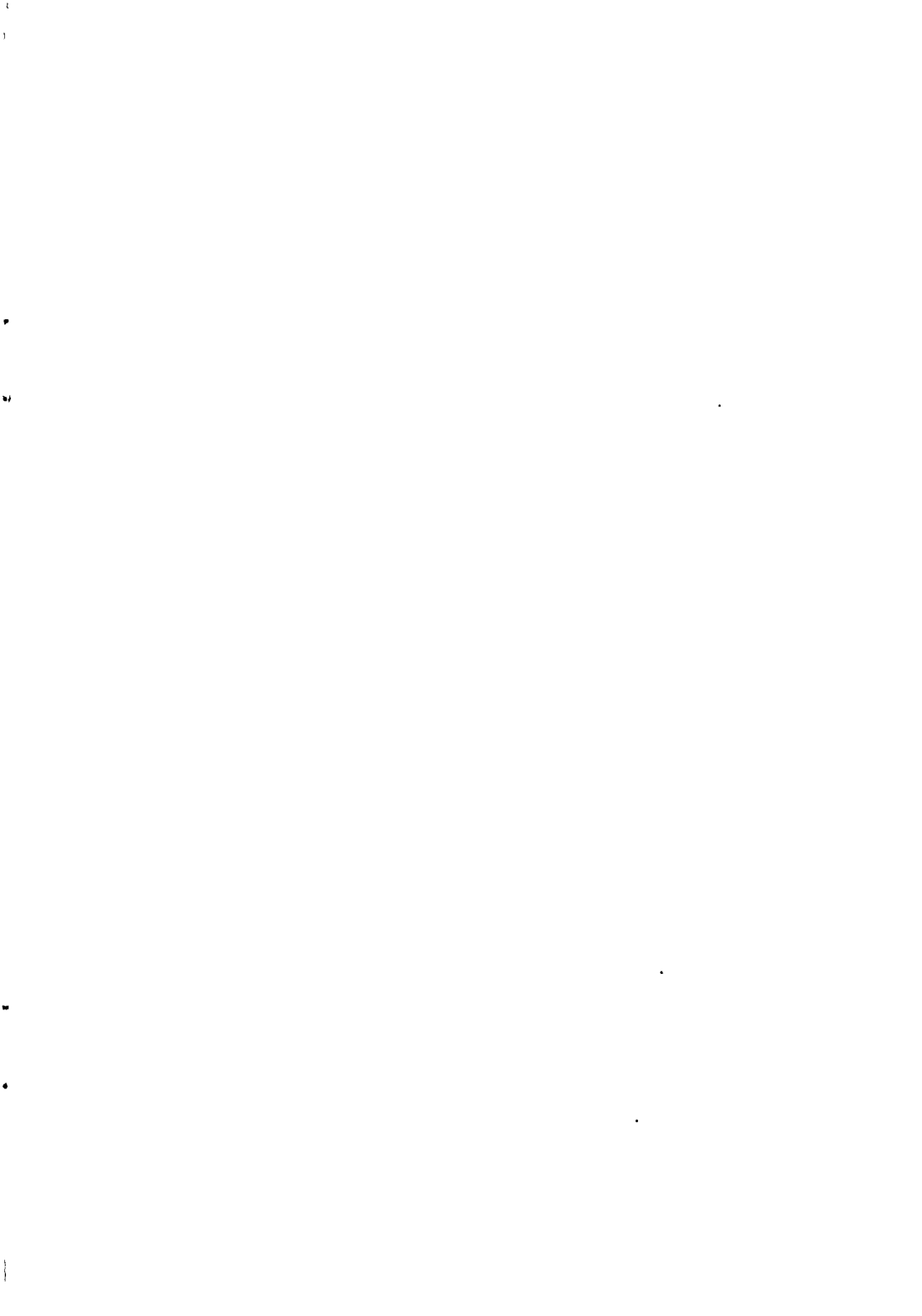
Лицензия на издательскую деятельность ЛР № 062809

Код издательства 5X7(03)

Отпечатано в типографии Издательства Московского государственного
горного университета

*119991 Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 6; Издательство МГГУ;
тел. (095) 236-97-80; факс (095) 956-90-40*





2003-A

13927

13927