

На правах рукописи



КЛИШИН ИГОРЬ ВАЛЕНТИНОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПОДВОДНОЙ РАЗРАБОТКИ СКАЛЬНОГО ГРУНТА
НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ**

Специальность 05 22 17 – Водные пути сообщения
и гидрография

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск 2007



Работа выполнена в **ФГОУ ВПО "Новосибирская государственная академия водного транспорта"**.

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Салов Александр Николаевич

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
Ботвинков Владимир Михайлович

кандидат технических наук, доцент
Жигални Николай Павлович

Ведущая организация – **ОАО "Сибречпроект"**

Защита состоится 30 мая 2007 г в 14³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 223 08 02 при **ФГОУ ВПО "Новосибирская государственная академия водного транспорта"** в ауд 227 по адресу 630099, г Новосибирск, ул Щетинкина,33, **НГАВТ** (тел/факс (383) 222-49-76, E-mail ngavt@ngs.ru; nsawt_ese@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке **ФГОУ ВПО "НГАВТ"**

Автореферат разослан "27" апреля 2007г

Ученый секретарь
диссертационного совета

 Михайлова Т Н

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Скалоуборочные работы являются неотъемлемой частью комплекса путевых работ и предназначены для обеспечения судоходных условий на внутренних водных путях (ВВП). Для обеспечения прогнозируемых габаритов судового хода на ВВП России и ближнего зарубежья предстоит убрать около 650 тыс м³ скального грунта. Несовершенство технических средств, отсутствие научно обоснованных методов расчета скалоуборочных технологий, трудности в обеспечении экологически безопасных условий при их производстве приводит к удорожанию разработки 1 м³ скалы, достигшей 300 – 900 руб/м³ в современных ценах. Во многом это объясняется тем обстоятельством, что известные решения задачи разрушения прочных пород ударом и взрывом (В. П. Баладинского, Ф. А. Баума, В. Ф. Баранникова, О. Е. Власова, Ю. А. Ветрова, М. М. Докучаева, В. М. Кузнецова, Б. Н. Кутузова, М. А. Лаврентьева, В. С. Перехвальского, Г. И. Покровского, В. А. Поповича, А. Н. Салова, А. В. Станкеева и др.) проводились применительно к ударно-вращательному бурению и разрушению прочных грунтов взрывом либо свободно падающим долотом, т. е. имели относительно узкую направленность. Поэтому совершенствование технологии подводной разработки скального грунта с применением более эффективных скалодробителей или зарядов взрывчатых веществ (ВВ) с разработкой методов расчетного обоснования их технологических параметров является актуальной задачей, имеющей существенное значение для внутренних водных путей РФ.

Целью диссертационной работы является совершенствование технологии подводной разработки скального грунта на внутренних водных путях РФ.

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

- уточнить методику проектирования подводных скалоуборочных работ,
- разработать метод расчета и технологию работы скалодробителей,
- разработать технологию и метод расчета экологически безопасных схем буровзрывных работ (БВР) для минимизации удельного

расхода ВВ с возможностью замены водостойких ВВ обычными

Методы исследований. В ходе выполнения диссертационной работы использованы математический аппарат и аргументация на основе развития научных достижений трех школ (гидродинамической – М А Лаврентьева, волновой – А Н Ханукаева и энергетической – Г И Покровского), при этом в модельных и натурных исследованиях использовалась современная аппаратура и ЭВМ

Научная новизна заключается

– в усовершенствовании метода подсчета объемов скалоуборочных работ с учетом различия технологий их производства (запасы на переуглубление),

– в разработке метода расчета технологических параметров скалодробителей с оптимизацией технологии их работы на подводных скалоуборочных работах,

– в разработке метода расчета оптимальных технологических параметров буровзрывной сетки с учетом планирования гранулометрического состава продуктов разрушения и минимизации удельного расхода ВВ,

– в усовершенствовании технологии БВР с применением специальных скважинных зарядов (предложение автора) для замены водостойких ВВ обычными,

– в разработке экологически безопасных схем БВР

На защиту выносятся:

– усовершенствованный метод подсчета объемов скалоуборочных работ с учетом различия технологий их производства (запасы на переуглубление),

– метод расчета технологических параметров скалодробителей с оптимизацией технологии их работы на подводных скалоуборочных работах,

– метод расчета технологических параметров БВР для планирования выхода негабарита и минимизации удельного расхода ВВ,

– технология БВР с применением специальных скважинных зарядов (предложение автора) для замены водостойких ВВ обычными,

– экологически безопасные технологии БВР,

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке таких технологий скалоуборочных работ, что их

влияние на окружающую среду (ихтиофауну) сведено к минимуму (БВР) или вовсе отсутствует (скалодробление) Возможность регулирования гранулометрического состава продуктов разрушения позволяет повысить производительность дноуглубительных и погруточных средств, снизив выход негабарита и себестоимость БВР и скалоуборочных работ в целом

Внедрение основных результатов. Предлагаемые технологии БВР внедрены в производство добычи строительного камня из обводненных карьеров на территории Западно-Сибирского горного округа и рекомендуются вместе со скалодробильными технологиями в производство подводных дноуглубительных работ на участках рек со скальным ложем Подтвержденный экономический эффект от внедрения результатов исследований только в ООО "Скала" составил около 600 тыс рублей

Апробация работы. Результаты работы доложены на конференции научно – технических работников ВУЗов и предприятий (Новосибирск, НГАВТ, 2003, 2007), на техническом совете ЗАО "Новосибирскагропромдорстрой" (Новосибирск, 2003), на научно – техническом семинаре института горного дела СО РАН (Новосибирск, 2004), на III научно – практической конференции "Инновационный потенциал ВУЗов г Новосибирска для строительства и жизнеобеспечения Сибири" (2005), на семинаре – совещании специалистов взрывного дела при областном учебном центре на секции "О состоянии взрывного дела и сохранности взрывчатых материалов" (Новосибирск, 2005)

Публикации. По содержанию диссертации опубликовано 8 статей в открытой печати

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, представлена в объеме 121 страницы машинописного текста, 23 рисунков, 22 таблиц, списка литературы, включающего 103 наименования, из них 7 на английском языке, и 4 Приложений

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана научная и практическая актуальность работы, определены цель и задачи исследований

Первая глава (Проектирование скалоуборочных работ на внутренних водных путях) посвящена анализу особенностей изыскательских и проектных работ на участках рек со скальным ложем. Подробно изложено планово – высотное обоснование съемок. Рекомендованы технологии ведения промерных и тральных работ. Предлагаемый метод подсчета объемов скалоуборочных работ учитывает разные технологии их производства с учетом запасов на переуглубление и посадку уровня в результате производства работ.

Вторая глава (Рыхление скальных грунтов пневматическими скалодробителями) посвящена разработке методики обоснования технологических параметров разрушения прочных грунтов скалодробителями с погружаемым рабочим органом.

Из теории упругости известно, что характер распределения напряжений при симметричном вдавливании жесткого штампа в упругое полупространство (рис 1) определяется бигармоническим уравнением

$$\Delta^2(\Delta^2\varphi) = 0, \quad (1)$$

где φ – функция, через которую выражены все четыре компонента напряжения $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\theta$ и τ_{rz} ,

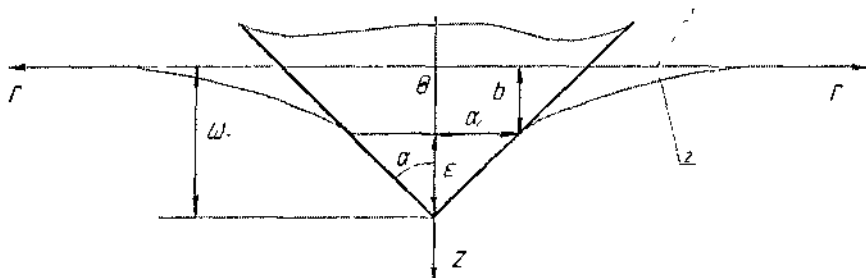


Рисунок 1 – Схема вдавливания жесткого конуса в сплошное полупространство 1 – поверхность грунта до разрушения, 2 – то же после разрушения

$\Delta^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа в цилиндрических координатах.

Решение уравнения (1) осуществлялось введением трансформанты Ханкеля и превращением бигармонического уравнения (1) в обыкновенное дифференциальное уравнение, при этом использовались относительные координаты $\xi = z/a_k$, $\rho = r/a_k$ и следующие обозначения $b_k = \varepsilon(\pi/2 - 1)$, $a_k = \varepsilon \operatorname{tg} \alpha$, $r^2 = 1 + \xi^2$, $R^4(\rho^2 + \xi^2 - 1)^2 = 4\xi^2$, $\xi \operatorname{tg} \theta = 1$, $(\rho^2 + \xi^2 - 1) \operatorname{tg} 2\varphi = 2\xi^2$. Граничные условия в этом случае в области $r < a_k$ заданы компонентой смещения точек первоначального положения поверхности упругой среды ($z = 0$), вне этой области нормальная компонента напряжения равна нулю. Касательные напряжения отсутствуют во всех областях границы

$$\left. \begin{array}{l} u_z = [u_z(r)]_{z=0} \\ \sigma_z = 0 \\ \tau_{rz} = 0 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} 0 \leq r \leq a_k \\ r > a_k \\ 0 \leq r \leq \infty \end{array} \right\}$$

Кроме того, необходимо, чтобы компоненты напряжений и смещения стремились к нулю при стремлении $r \rightarrow \infty$.

В результате решения (1) получены зависимости для всех четырех компонентов напряжения $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\theta$ и τ_{rz} , графики которых представлены на рис. 2.

Согласно теории прочности Давиденкова-Фридмана при $m = \tau_{\max} / \sigma_p^n = 0,5(\sigma_1 - \sigma_3) / [1 + \mu(\sigma_1 - \sigma_3)] \geq 0,5$ в качестве разрушающих приняты максимальные касательные напряжения. Так как в нашем случае $m \geq 0,5$ всегда, эти напряжения определяются половиной алгебраической разности максимальной и минимальной компонент главных напряжений из характеристического кубического уравнения

$$\begin{vmatrix} \sigma - \sigma_r & 0 & \tau_{rz} \\ 0 & \sigma - \sigma_\theta & 0 \\ \tau_{rz} & 0 & \sigma - \sigma_r \end{vmatrix} \quad (2)$$

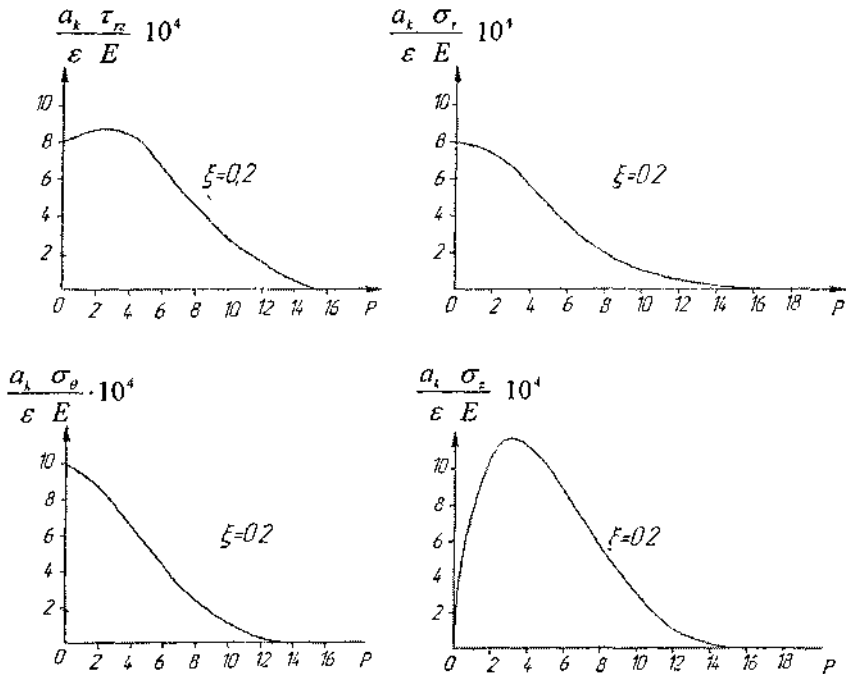


Рисунок 2 – Кривые изменения компонентов напряжений

Зависимость максимальных касательных напряжений от относительных координат $\tau_{\max} = \varphi(\rho, \xi)$ представлена графиком на рис 3,а

Чтобы воспользоваться общим решением в условиях конкретной задачи, необходимо установить значение полной упругой деформации свободной поверхности ω_n в метрах и соответствующий радиус конуса, соприкасающийся со скальным грунтом a_k

$$\omega_n = \left[\pi m_d v_d^2 (1 - \mu^2) / 4 E t g \alpha \right]^{1/3}, \quad (3)$$

m_d – масса долота, кг, v_d – скорость долота в момент удара его о поверхность скальной породы, м/с; $a_k = 0,64 \omega_n t g \alpha$,

μ – коэффициент Пуассона для скальной породы, E – модуль

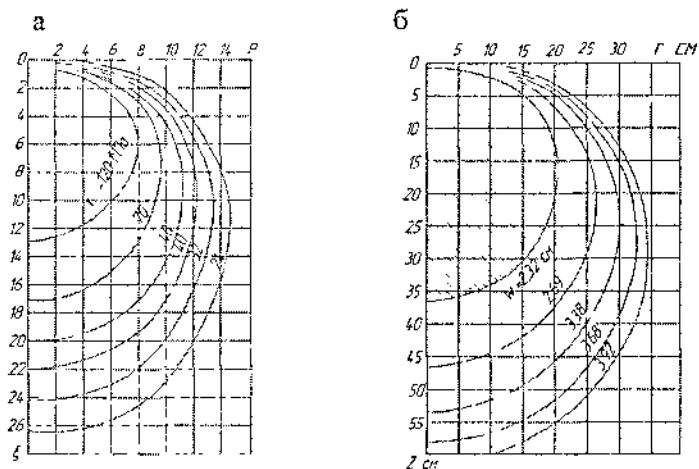


Рисунок 3 – Кривые областей разрушений

а – относительные координаты, б – физические координаты

упругости скальной породы, ρ , α – половина угла при вершине конуса долота, град

Используя зависимости (2) и (3), кривые $\tau_{\max} = \varphi(\rho, \xi)$ на рис.3,а можно перестроить в кривые с абсолютными координатами $r = \alpha_i \rho$ и $z = \alpha_i \xi$ (рис 3,б)

Для определения плановых перемещений долота l_d на карте разрушения необходимо из семейства кривых (рис 3,б) выбрать кривую τ_{\max} , соответствующую прочности породы и глубине внедрения конуса ω_n и определить объем разрушения и его геометрические размеры (рис 4), которые помогают связать все технологические параметры работы скалодробителя – глубину рыхления z , требуемое число ударов N , крепость грунта f , перемещение (шаг) долота l_d , производительность Π в виде номограммы (рис 5)

Третья глава (Совершенствование буровзрывного способа разрушения прочных грунтов) посвящена совершенствованию буровзрывной технологии производства скалоуборочных работ

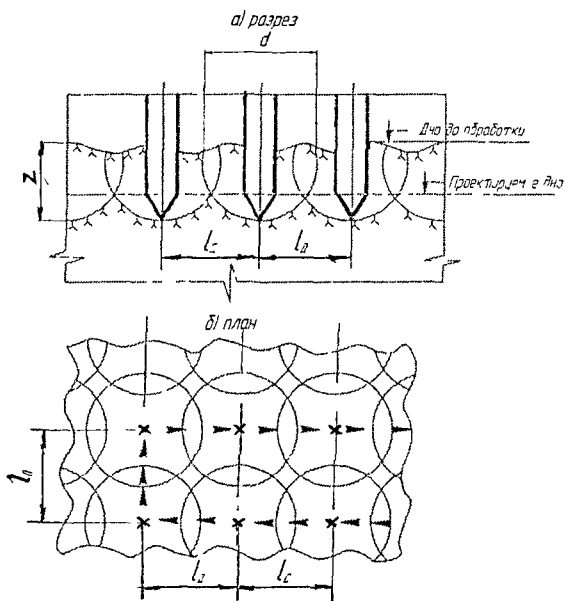


Рисунок 4 – Плановые перемещения долота на карте
рыхления а – разрез, б – план

К технологическим параметрам буровзрывного способа рыхления относятся полезная толщина снимаемого слоя (массива) h , величина переуглубления (перебур) h_n , диаметр скважины $d_{сва}$, длина заряда $L_{ва}$ и скважины $H = h + h_n$, коэффициент использования длины скважины для заряжания ВВ $\varphi = L_{ва} / (h + h_n)$, $\rho_{ва}$ – плотность ВВ, расстояние между осями скважин l и техническая производительность бурового станка Π , которая зависит от крепости скального грунта f и скорости бурения бурового станка

Рассмотрим баланс энергии при взрыве скважинного заряда и энергии, требуемой для разрушения породы, приходящейся на скважину (рис 6)

$$\eta QU = \varepsilon_{уд} V_{пор} \lambda \quad (4)$$

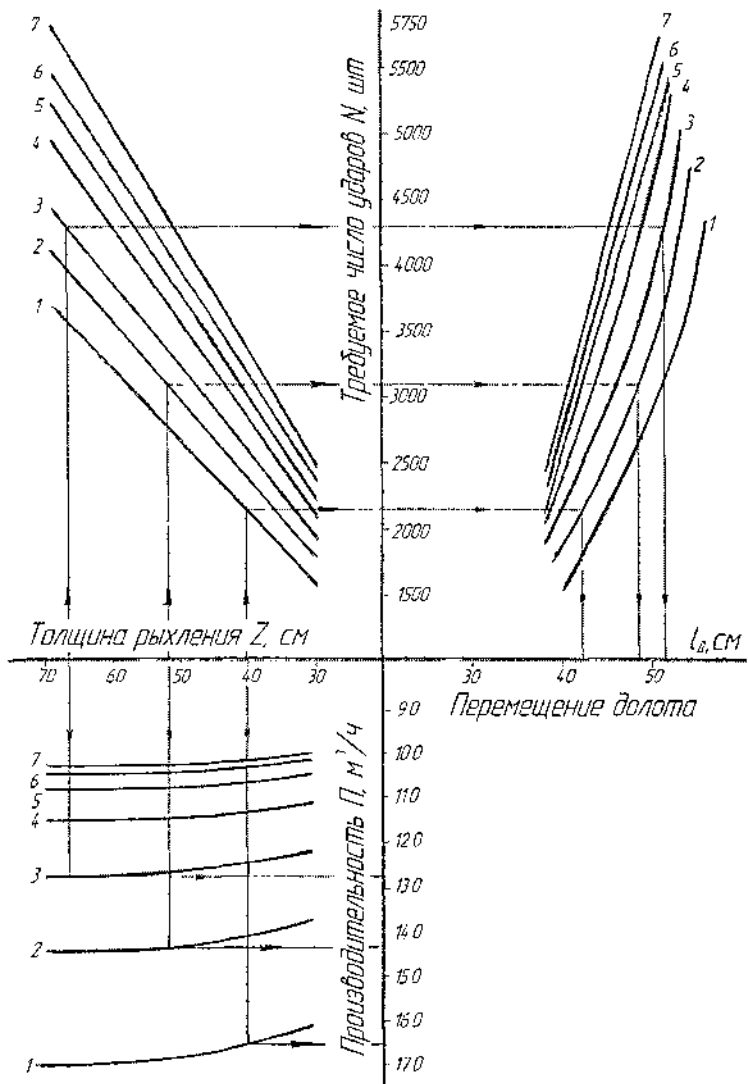


Рисунок 5 – Номограмма технологических параметров пневматического скалодробителя 1 – 7 - кривые разной крепости скального грунта по Протодяконову $f = 6,7,8,9,10,11,12$

Здесь $\eta = H\sigma^2 / 6 \cdot 10^5 E$ – кпд взрыва скважинного заряда, Q – масса заряда ВВ в скважине, кг, U – удельная энергия ВВ, Дж/кг, $\mathcal{E}_{\text{до}} = \sigma^2 / (2E)$ – удельная энергоемкость разрушения породы, Дж/м³, σ – разрушающее напряжение, Па, E – модуль деформации породы, Па, $V_{\text{пор}} = \ell^2 (h + h_n / 3)$ – объем породы, приходящийся на один скважинный заряд (на рис 6 этот объем заштрихован), м³, $\lambda = 0,693 \ln(1/A_{\text{ср}}^3)$ – коэффициент увеличения энергии заряда ВВ для получения заданного размера продуктов разрушения $A_{\text{ср}}$

Подстановка вышеперечисленных величин в (4) и замена $h_n/h = k$, позволяет получить кубическое уравнение, которое связывает технологические параметры буровзрывного способа рыхления

$$Ak^3 h/3 + (A-1)k^2 - 2k - 1 = 0 \quad (5)$$

Здесь $A = 22 \cdot 10^5 \ln(1/A_{\text{ср}}^3) / \varphi \rho_{\text{вв}} U$

Решение уравнения (5) для конкретных условий позволяет увязать технологические параметры буровзрывной технологии в виде номограммы (рис 7), пример пользования которой показан линиями со стрелками

Исследование схем планового расположения скважин на взрываемом массиве показало, что наиболее простым и технологичным следует считать квадратное расположение скважин, при этом скважины могут быть как вертикальными, так и наклонными. Подрыв зарядов следует осуществлять с помощью низкоэнергетической системы инициирования повышенной безопасности (метод СИНВ), при этом схемы монтажа взрывной сети могут отличаться большим разнообразием ("классическая", "комбинированная", "диагональная", "клинообразная" и т.д.) и выбираться в зависимости от конкретных условий с учетом безопасности окружающей среды, в том числе и окружающей ихтиофауны

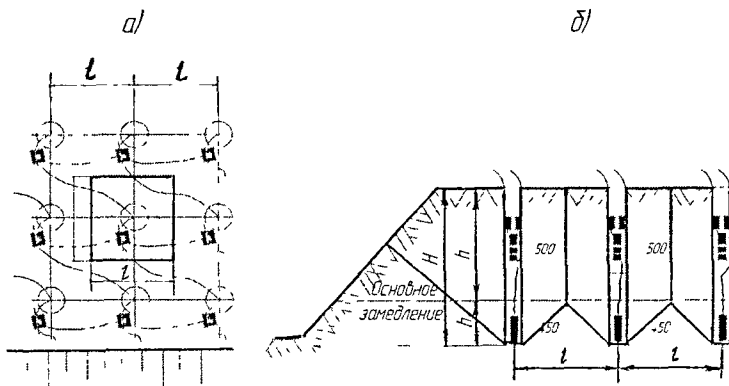


Рисунок 6 – Схема буровзрывного дноуглубления
а – план, б – разрез

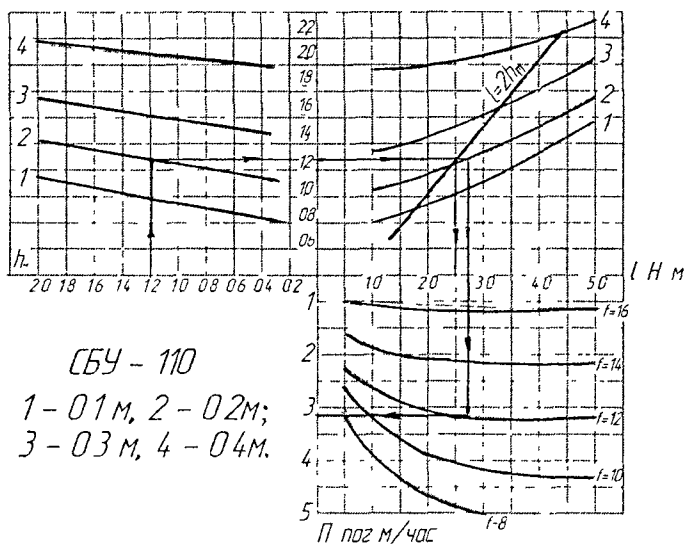


Рисунок 7 – Номограмма технологических параметров буровзрывных работ при скважинном рылении 1-4 – крупность рыления, $f = 8 - 16$ – крепость грунта по Прогодьяконову

Безопасность достигается обеспечением минимально допустимых давлений во фронте подводной ударной волны (ПУВ), которые разделяют породы рыб на *высокочувствительные* ($p_{без} = 0,5$ МПа – хамса, атерина, лещ, плотва, кефаль, сурок мелкий), *среднечувствительные* ($p_{без} = 1$ МПа – тарань, судак, осетровые, рыбец, горбыль), *малочувствительные* ($p_{без} = 2$ МПа – сазан, бычки, камбала), и минимально допустимых удельных энергий ударной волны для сооружений ($30 \div 250$) Дж/м²

Уменьшить пиковые давления и удельную энергию ПУВ можно двумя способами

* созданием на пути движения ПУВ искусственной преграды в виде *воздушно-пузырьковой завесы* (ВПЗ),

* применением *коротко-замедленного взрывания*

Многочисленные натурные эксперименты позволили получить эмпирические зависимости пикового давления p_{max} (МПа) и удельной энергии $E_{уд}$ (Дж/м²) от расстояния до места взрыва r (м)

максимальное пиковое давление $p_{max} = 16Q_3^{0,8} / r^{1,4}$, (6)

удельная плотность энергии $E_{уд} = k_{ва} \alpha Q_3 / r^2$, (7)

где Q_3 – эквивалентная масса системы скважинных зарядов ($Q_3 = 0,003m Q$), кг, m – число одновременно взрывааемых скважин, шт, Q – масса заряда ВВ в скважине, кг, $k_{ва}$ – коэффициент, зависящий от типа ВВ, $\alpha = 1,1 - 1,4$ – коэффициент, зависящий от акустической жесткости взрываемой породы, кг/м²с

Работы Б Р Паркина, Р А Гильманова, А.Н Салова, А В Станкеева и других показали, что эффективность ВПЗ зависит от ее размеров и воздухомасштащения, при этом требуемый удельный расход воздуха q (м²/с) для перфорированной трубы ВПЗ необходимо определять по формуле

$$q = 0,005(p_{max} / p_{без} - 1)(v h \operatorname{tg}(\beta / 2)) / (1 + \mu), \quad (8)$$

где p_{max} – давление в УВ, падающей на завесу, МПа, $p_{без}$ – безопасное давление для ихтиофауны, МПа, v – скорость подъема пузырь-

применению ВПЗ при скважинном рыхлении позволяет сделать следующие выводы

– определение пикового давления и удельной энергии во фронте ПУВ следует производить по формулам (6),(7), при этом при коротко–замедленном взрывании группы зарядов в расчет следует принимать наибольший из них, а при внутрискважинном замедлении в расчет следует принимать порционную часть прерывистого заряда,

– воздушно–пузырьковая завеса с относительной массой воздуха в завесе более 10^{-4} дает примерно 5–кратное снижение давления во фронте ПУВ,

– устройство многорядных ВПЗ позволяет снизить давление до требуемых пределов, либо локализовать его совсем

В *четвертой главе (Технико-экономическое обоснование буровзрывных работ)* дается технико-экономическое обоснование предлагаемых автором технологий БВР при производстве добычных работ в обводненных условиях Скалинского каменного карьера. Оптимизация технологических параметров добычных работ позволила снизить удельный расход ВВ и выход негабарита с 8 до 3%. Кроме того, использование неводостойких ВВ позволило получить совокупный экономический эффект только на Скалинском каменном карьере Новосибирской области около 600 тыс рублей

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1 Существующие методы проектирования дноуглубительных работ на мягких грунтах не учитывают сложную специфику подводных скалоуборочных и добычных работ на прочных грунтах, поэтому в результате проведенного исследования рекомендованы технологии ведения промерных и тральных работ с установлением физико-механических свойств скальных грунтов

2 Уточнение запасов на переуглубление для разных технологий производства подводных скалоуборочных работ с учетом посадки уровней позволило усовершенствовать метод подсчета объемов скалоуборочных и добычных работ

3 На основе анализа технологий подводных скалоуборочных работ рекомендованы два способа безвзрывной – *скалодробление*

и взрывной – *рыхление шпуровыми (скважинными) зарядами* с учетом требований безопасности окружающей среды и ихтиофауны

4 Впервые разработан метод расчета технологических параметров скалодробителей с оптимизацией технологии их работы на подводных скалоуборочных работах. Предлагаемая номограмма позволяет увязать оптимальные технологические параметры скалодробителя: глубину разработки, плановые перемещения рабочего органа, требуемое число ударов и крепость скального грунта.

5 Также впервые разработан метод расчета оптимальных параметров буровзрывной сетки, позволяющий

а) планировать гранулометрический состав взорванной массы скального грунта и выход негабарита для определения трудоемкости работ и материальных затрат по их ликвидации,

б) минимизировать удельный расход ВВ с учетом обеспечения безопасности окружающей среды, сооружений и ихтиофауны.

6 Предложена технология БВР специальными скважинными зарядами (патент 2224975), которые позволяют применять относительно дешевые обычные ВВ взамен дорогих водостойких.

7 Техничко-экономические расчеты показывают достаточно высокую эффективность предлагаемых технологий. Подтвержденный экономический эффект только по Скалинскому карьере Новосибирской области составляет около 600 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1 Клишин И В. Планирование выхода негабарита при буровзрывном разрушении прочных грунтов / А Н Салов, И В Клишин, И А Обращев // **Известия Вузов. Строительство** – Новосибирск НГАСУ, 2007 – № 4 – С 105 – 110

2 Клишин И В. Разработка прочных грунтов скалодробителями / А Н Салов, И В Клишин // **Горный информационно-аналитический бюллетень**. – М. Изд МГГУ, 2007 – № 4 – С 396– 400

3 Клишин И В. Неэлектрическая система инициирования скважинных зарядов при добыче щебня в карьерах / А Н Салов, И В Клишин // **"Сибирский научный вестник"**. – Новосибирск НГАВТ, 2003 – №6 – С 128–132

4 Клишин И В Разрушение скальных грунтов гидравлическими рыхлителями / А Н Салов, И В Клишин // Сб "Проектирование путевых работ и русловых сооружений на судоходных реках" – Новосибирск Наука, 2005 – С 69–80

5 Клишин И В Экологическая безопасность взрывного дноуглубления / А Н Салов, И В Клишин // "Сибирский научный вестник". – Новосибирск, НГАВТ, 2006 – №9 – С 211–213

6 Клишин И В Скалоуборочные работы на внутренних водных путях / А Н Салов, И В Клишин // "Сибирский научный вестник". – Новосибирск НГАВТ, 2003 – №6 – С 126–128

7 Клишин И В Внутренние водные пути в системе международных транспортных коридоров / И В Клишин// "Международные транспортные коридоры на территории России". – Новосибирск Сибирское Соглашение, 2005 – С 209–230

8 Патент №2224975 Скважинный заряд/ И В Клишин (РФ)//Открытие Изобретения, 2004 – №6

Подписано к печати 23 апреля 2007г
Формат 60x84 Заказ № 27 1/16 Печать офсетная
Объем 1 усл печ лист Тираж 100 экз,

Отпечатано отделом оперативной полиграфии НГАВТ
Лицензия ЛР 021257 от 27 11 1997 г

630104, Новосибирск, ул Советская, 60