

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ШТОГРИН ЕВГЕНИЙ АНДРЕЕВИЧ

УДК 621.316.728

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ  
НА БУРОВЫЕ РАБОТЫ И ОЦЕНКА БУРИМОСТИ  
ГОРНЫХ ПОРОД  
/ на примере нерудных карьеров /

Специальность 05.09.03 - Электротехнические комплексы и  
системы включая их управление  
и регулирование

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев - 1993

Работа выполнена в Киевском политехническом институте  
на кафедре электроснабжения

- НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ - заслуженный работник высшей школы Украины, профессор Винославский В.Н.
- кандидат технических наук, доцент Рогальский В.С.
- ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОПИОНЕНТЫ - доктор технических наук, профессор Хронусов Г.С.
- кандидат технических наук, доцент Розен В.П.
- ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ - Киевский проектный и проектно-конструкторский институт "Киевпромэлектропроект"


Защита состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 199 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании специализированного совета К 068.14.01 в Киевском политехническом институте КОПІ. 22, АУД. 503.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 252056, Киев - 56, проспект Победы, 37 КПИ, учёному секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского политехнического института.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 199 г.

Учёный секретарь  
специализированного совета  
канд. техн. наук, доцент

  
Е.И.Шульга

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00753688 (.)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Существующие методы нормирования и планирования электропотребления в горной промышленности не могут считаться достаточно научно обоснованными, так как они являются слишком ориентировочными, а в большей степени субъективными и слабо связанными с производственной программой предприятия и с темизменениями, которые происходят в процессе ее реализации. Отсутствие объективных сведений о технологических свойствах добываемых горных пород, осложняет задание режимных и технологических параметров процессов, способствует перерасходу объемов бурения, электроэнергии и других материалов. В связи с этим особую важность приобретает разработка и совершенствование научно обоснованных методов нормирования и планирования электроэнергии, оценки буримости горных пород, а также эффективности их использования в производстве.

Настоящая работа выполнялась по плану отраслевой программы Минавтодорстроя Украины в 1979-1982 гг. и республиканской целевой программы "Энергокомплекс" в 1983-1985 гг., а также в соответствии с планом внедрения энергосберегающих технологий на предприятиях "Западдорвзрыпрома" на 1991-1995 гг.

Цель работы является исследование обеспечения рационального потребления электроэнергии при выполнении буровых работ в карьерах, а также повышение эффективности нормирования и планирования буровзрывных работ в целом за счет получения более достоверной информации о технологических свойствах горных пород.

В диссертационной работе решаются следующие задачи:

- анализ условий эксплуатации, электроснабжения и закономерности потребления электроэнергии буровых станков на нерудных карьерах;
- исследование и разработка методики нормирования и планирования расхода электроэнергии на буровые работы с учетом вероятностного характера электропотребления буровых станков;
- разработка моделей краткосрочного (на обуриваемый массив) и долгосрочного (на год и пятилетку) в целом по месторождению прогнозов удельного и общего расхода электроэнергии;
- разработка более эффективного способа оценки буримости горных пород в условиях нерудных карьеров для станков шарошечного и ударно-вращательного бурения;
- разработка методики построения технологических шкал буримости горных пород по полной удельной энергоёмкости бурения и их

использование для нормирования, планирования и контроля энергетических, материальных и трудовых ресурсов;

- разработка отраслевой инструкции по нормированию расхода электроэнергии на буровые работы.

Методы исследования. При решении поставленных задач в диссертационной работе использован аппарат теории вероятности и математической статистики, методы корреляционного, регрессионного и факторного анализов, матричный метод.

Реферируемая работа базируется на материалах экспериментальных измерений, выполненных на карьерах Республиканского промышленного объединения "Укрдорстройиндустрия".

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие научные результаты:

1. Установлены закономерности распределения электропотребления различных типов буровых станков в условиях нерудных месторождений.

2. Разработана структура и методика нормирования расхода электроэнергии на буровые работы с учетом вероятностного характера электропотребления буровых станков.

3. Определены технологические агрегатные удельные расходы электроэнергии, составляющие основу нормирования электропотребления на буровые работы.

4. Разработаны модели краткосрочного (на обуриваемый массив) и долгосрочного (на год и пятилетку в целом по месторождению) прогноза удельного и общего расхода электроэнергии.

5. Разработан способ оценки буримости горных пород по полной удельной энергоемкости бурения, отличающийся от известных большей информативностью, простотой получения информации и меньшей погрешностью.

6. Разработана методика построения технологических шкал буримости горных пород для станков шарошечного и ударно-вращательного бурения.

Практическая ценность работы. Предлагаемые модели прогноза, методика нормирования электропотребления на буровые работы позволяют повысить точность и эффективность нормирования и ответственность персонала за рациональное использование электроэнергии.

Предлагаемый способ оценки буримости горных пород и построенные на его основе технологические шкалы буримости горных пород позволяют практически без дополнительных затрат с помощью обычных

электросчетчиков получить достоверную информацию о свойствах горных пород по любому объему бурения, что, в свою очередь, дает возможность повысить эффективность планирования и нормирования буровзрывных работ в целом, снизить их себестоимость, а также отказаться от излишнего резервирования мощности и прочности механизмов при создании буровых станков, упростить задание режимных и технологических параметров бурения.

Результаты исследований использованы в полной мере для составления отраслевой инструкции по нормированию расхода электроэнергии на буровые работы.

Реализация работы. Основные положения диссертации внедрены на предприятиях республиканского промышленного объединения "Укрдорстройиндустрия", специализированном производственном управлении "Тернопольдорзврывпром", а также использованы при составлении отраслевой инструкции по нормированию расхода электроэнергии на буровые работы. Экономический эффект от внедрения разработок по СЦУ "Тернопольдорзврывпром" составляет 64,5 тысяч рублей в год.

На защиту выносятся следующие положения:

- закономерности распределения электропотребления буровых станков и удельные технологические агрегатные расходы электроэнергии на буровые работы;
- методика нормирования и планирования расхода электроэнергии на буровые работы (для отдельных буровых станков, участков и управлений буровзрывных работ (БВР);
- модели краткосрочного (на обуриваемый массив) и долгосрочного (на год и пятилетку в целом по месторождению) прогнозов удельного и общего расходов электроэнергии;
- способ оценки буримости горных пород в условиях открытых горных разработок;
- методика построения технологических шкал буримости горных пород для различных типов буровых станков и месторождений и их использования для планирования и контроля электроэнергии, материалов, зарплаты, инструмента и оборудования;
- отраслевая инструкция по нормированию расхода электроэнергии на буровые работы, включающая также типовой перечень мероприятий по снижению удельных норм расхода и экономии электроэнергии.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на семинаре республиканского промышленного объединения "Укрдорстройиндустрия" по буровзрывным рабо-

там (г.Полонное Хмельницкой области, 1979 г.), Всесоюзной конференции "Методы и средства учета, контроля и управления электропотреблением промышленных предприятий" (г.Киев, 1981, 1983 гг.), IV сессии Всесоюзного научного семинара "Кибернетика электрических машин по тематике "Электроснабжение промышленных предприятий" (г.Киев, 1982 г.), республиканском семинаре "Эффективность и безопасность ведения буровзрывных работ на предприятиях Миндорстроя УССР (г.Кременчуг, 1982 г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Эффективность и качество электроснабжения промышленных предприятий" (г.Жданов, 1983 г.), научно-технической конференции "Технико-экономические проблемы оптимизации режимов электропотребления промышленных предприятий" (г.Челябинск, 1984, 1987 гг.), а также на научных семинарах кафедр электроснабжения промышленных предприятий Винницкого (1980, 1981, 1986, 1989 гг) и Киевского политехнических институтов (1988, 1989 гг.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 12 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 155 страницах основного текста, иллюстрированного 18 рисунками, списка основной использованной литературы на 10 страницах, включающего 100 наименований и 6 приложений на 91 стр.

Во введении приведена краткая аннотация работы, обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, а также сформирована цель проводимых исследований и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ условий эксплуатации, особенностей электроснабжения и электропотребления электроприемников производственных участков буровзрывных работ, методов нормирования и планирования электропотребления и способов оценки буримости горных пород. Результаты анализа позволили обосновать необходимость решения ряда научно-технических задач, определивших направленность и структуру диссертационной работы.

Во второй главе обоснована методика экспериментальных исследований удельного электропотребления буровых станков и приведены их результаты. Установлены закономерности изменения электропотребления буровых станков в условиях различных месторождений и добычных горизонтов. Получены статистические модели различных нерудных месторождений. Исследованы факторы, влияющие на удельное электропотребление.

В третьей главе излагаются предлагаемые методика нормирования электроэнергии на буровые работы, математическая модель прогноза удельного и общего расхода электроэнергии на обуриваемый массив. На основе статистических моделей месторождения разработана методика долгосрочного планирования электроэнергии, материалов и других ресурсов на буровые работы.

В четвертой главе предложен и обоснован способ оценки буримости горных пород по полной удельной энергоемкости бурения. На его основе разработана методика построения технологических шкал буримости горных пород для различных месторождений, добычных горизонтов, типов буровых станков и инструментов, а также методика применения этих шкал для нормирования и планирования буровзрывных работ.

Пятая глава посвящена разработке рекомендаций по снижению удельных расходов электроэнергии на буровые работы и методике оценки эффективности результатов исследований.

Результаты диссертационной работы сформулированы в выводах по каждой главе, а основные из них - в заключении.

Приложения содержат исходные данные и результаты их обработки, тексты разработанных программ расчета на ЭВМ, отраслевая инструкция по нормированию расхода электроэнергии на буровые работы, а также документы, подтверждающие внедрение результатов исследований в производство.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Как показали результаты исследований, полная удельная энергоемкость бурения на всех месторождениях изменяется в широких пределах как в плане, так и по глубине обуриваемого массива. Коэффициент вариации статистических распределений на верхних добычных горизонтах (уступах) составляет 40-60%, а на более низких понижается до II-25%. Прежде всего это характеризует значительную неоднородность пород, составляющих месторождение. Минимальные значения энергоемкости наблюдаются при бурении слабых пород, затронутых выветриванием, максимальные - при бурении свежих мелкозернистых пород. Уменьшение удельного расхода наблюдается при бурении первого ряда скважин и верхнего слоя толщиной 1-2 метра на всех добычных горизонтах. Это объясняется нарушенностью верхнего слоя и обнаженных бортов добычных горизонтов взрывными работами. Увеличение удельного расхода отмечается при бурении обводненных участков и графитовых включений.

С увеличением глубины карьера среднее значение удельной энергоемкости бурения (удельного расхода) повышается (на 10-50% при

переходе от пород, затронутых выветриванием, до свежих пород и на 3-4% - на более низких горизонтах).

Статистические распределения удельного расхода электроэнергии на 1 метр скважины хорошо выравниваются кривыми Пирсона (I, II и УП) и нормальной кривой. При этом на верхних добычных горизонтах месторождение представлено более слабыми породами, поэтому статистическое распределение описывается нормальной кривой. На месторождениях с большим сроком эксплуатации и, соответственно, большим фронтом горных работ и большей глубиной, как правило, статистические распределения выравниваются нормальной кривой. В начальный период разработки месторождения (глубина карьера и фронт горных работ незначительные) преобладают более слабые по твердости породы (в разработку вовлечены в основном породы, затронутые выветриванием). В этих случаях статистические распределения имеют значительную левостороннюю асимметрию и выравниваются кривыми Пирсона (выборки по таким месторождениям являются менее представительными). В целом удельная энергоёмкость бурения однотипными станками на одноименных месторождениях отличается на 5-70%. В большинстве случаев такое расхождение является существенным и говорит о необходимости создания статистической модели для каждого месторождения. Такие модели (в виде статистических и выравнивающих распределений удельной энергоёмкости бурения) построены для ряда гранитных, базальтовых, песчаных, андезитовых и известняковых месторождений.

В основу нормирования электроэнергии на буровые работы положен расчетно-экспериментальный метод. Разработана структура технологических (агрегатных) и общепроизводственных (для участков и управлений) удельных норм. Технологическая удельная норма определяется по формуле

$$W_{r,ij} = W_{a,ij} + \sum_{n=1}^N W_{s,n}^i, \quad (I)$$

где  $W_{r,ij}$  - технологическая (агрегатная) норма расхода электроэнергии на бурение одного погонного метра скважины станком  $i$ -го типа на  $j$ -м добычном горизонте, кВт ч/пог.м;  $W_{a,ij}$  - расход электроэнергии на бурение 1 пог.м скважины  $i$ -го типа на  $j$ -м горизонте (основной технологический процесс), кВт ч/пог.м;  $W_{s,n}^i$  - расход электроэнергии на выполнение  $n$ -й вспомогательной технологической операции на  $i$ -м буровом станке, отнесенный к одному погонному метру скважины, кВт ч/пог.м (определяется экспериментально).

В качестве технологических удельных норм  $W_{r,ij}$  принимаются математические ожидания среднего удельного расхода электроэнергии

на бурение  $I$  м скважины. Значения  $W_{r.ij}$  определяются экспериментальным путем.

Общепроизводственная норма расхода электроэнергии для участка буровзрывных работ на планируемый период определяется по формуле

$$W_{yч} = \frac{\sum_{i=1}^n W_{r.ij} \Pi_{ij} + W_{k.yч}}{\sum_{j=1}^m \Pi_{ij}}, \quad (2)$$

где  $\Pi_{ij}$  – план бурения скважин в расчетном периоде на станок  $i$ -го типа на  $j$ -м добычном горизонте, пог.м;  $W_{k.yч}$  – расходы электрической энергии на вспомогательные нужды участка, кВт.ч.;  $n$  – количество буровых станков,  $m$  – число добычных горизонтов.

Вспомогательные нужды участка включают расходы электроэнергии на внутреннее и наружное освещение производственных, административных и бытовых помещений ( $W_{осв.}$ ), заточку съёмных коронок для станков ударно-вращательного бурения и перфораторов ( $W_{з.к.}$ ), потери в питающих кабелях и трансформаторах ( $W_{пот.}$ ), ремонт оборудования в мастерской участка и на буровых станках ( $W_{рем.}$ ), отопление и санитарно-гигиенические нужды ( $W_{от}$ ), потери электроэнергии в общих элементах распределительной сети предприятия ( $W_{пот.}$ )

$$W_{k.yч} = W_{осв.} + W_{з.к.} + W_{пот.} + W_{рем.} + W_{от} + W_{пот} \quad (3)$$

Разработана методика определения расхода электроэнергии на вспомогательные нужды участков БВР. Исходные данные для определения некоторых составляющих выражений (3) получены экспериментальным путем и представлены в отраслевой инструкции в виде таблицы.

Анализ данных экспериментальных исследований показал, что на изменение  $W_0$  оказывают влияние множество факторов при самом многообразном их сочетании. Основными из них являются: физико-механические свойства горных пород; нарушенность верхнего слоя и обнаженных бортов массива предыдущими массовыми взрывами; обводненность пород; глубина бурения, тип станка и бурового инструмента; затупление шарошки, величина реактивной мощности, потребляемой станком.

При нормировании и планировании электропотребления тип станка и инструмента, глубину бурения можно учесть путем установления для каждого станка и бурового инструмента, добычного горизонта индивидуальной технологической нормы.

Неизбежное затупление шарошки до момента ее замены, обводненность пород, нарушенность массива взрывами можно считать как эквивалентное изменение свойства буримых пород. Однако все эти факторы, а также физико-механические свойства пород в процессе бурения

являются неизвестными. Как показали результаты исследований их можно учесть косвенно - через входные и выходные параметры режима бурения: частоту вращения бурового стана  $n$  и его давление на забой скважины  $F$ , время бурения 1 метра скважины  $t_0$ , величину потребляемой реактивной мощности  $Q$  за период  $t_0$ .

При установлении наличия и тесноты связей между  $W_0$  и указанными выше факторами применены математические методы корреляционного анализа. Определение парных и частных коэффициентов корреляции, проверка нулевых гипотез  $H_0(K=0)$  и реальности связей по критерию Стьюдента свидетельствует о том, что удельная энергоёмкость бурения  $W_0$  стохастически связана с  $t_0$  ( $K_{W_0 t_0} = 0,997$ ),  $W_{op}$  ( $K_{W_0 W_{op}} = 0,977$ ),  $n$  ( $K_{W_0 n} = -0,656$ ),  $F$  ( $K_{W_0 F} = -0,792$ ). Совокупное влияние  $t_0$ ,  $n$ ,  $F$  и  $W_{op}$  на  $W_0$  является основным.

Для построения корреляционной модели прогноза удельного электропотребления буровых станков СБШ-250 МН на обуриваемый массив использован метод Чебышева.

Множественное линейное корреляционное уравнение, выражающее зависимость  $W_0$  от  $t_0$  имеет вид

$$W_0 = 0,63 + 2,8t_0 \pm \bar{\sigma}_{1.2} \quad (4)$$

с основной ошибкой  $\bar{\sigma}_{1.2} = 0,712$  кВт.ч/пог.м.

Множественное линейное корреляционное уравнение, выражающее зависимость  $W_0$  от  $t_0$  и  $n$  имеет вид

$$W_0 = -3,147 + 3,036t_0 + 0,26n \pm \bar{\sigma}_{1.2.3} \quad (5)$$

с основной ошибкой  $\bar{\sigma}_{1.2.3} = 0,451$  кВт.ч/пог.м.

Соответственно множественные линейные корреляционные уравнения, выражающие зависимость  $W_0$  от  $t_0$ ,  $n$  и  $F$ ;  $W_0$  от  $t_0$ ,  $n$ ,  $F$  и  $W_{op}$  имеют вид

$$W_0 = -9,782 + 3,187t_0 + 0,062n + 0,031F \pm \bar{\sigma}_{1.2.3.4} \quad (6)$$

с основной ошибкой  $\bar{\sigma}_{1.2.3.4} = 0,396$  кВт.ч/пог.м.

$$W_0 = 2,293 + 2,766t_0 - 0,004n + 0,015F + 0,037W_{op} \pm \bar{\sigma}_{1.2.3.4.5} \quad (7)$$

с основной ошибкой  $\bar{\sigma}_{1.2.3.4.5} = 0,42$  кВт.ч/пог.м.

При построении множественного корреляционного уравнения (7) для вычисления определителей 4-го порядка (при отсутствии переменных величин в качестве элементов определителя) использована стандартная, более подходящая для ЭВМ - "схема существенного деления", основанная на последовательном преобразовании элементов определителя -

теля по ведущим (опорным) элементам. При наличии в определителе в качестве элементов переменных величин использован метод "опорного элемента", позволяющий свести определитель  $n$ -го порядка к определителю  $(n-1)$ -го порядка, элементы которого выражены как миноры второго порядка.

Результаты проверки линейности и оценки коэффициентов регрессии и констант уравнений (4-7) показали, что во всех случаях нулевую гипотезу  $H_0$  ( $\beta_1 = 0, \beta_2 = 0, \beta_3 = 0, \beta_4 = 0$  и  $a = 0$ ) следует отвергнуть. Уравнения (4-7) характеризуют связь соответственно  $W_0$  с  $t_0$ ,  $W_0$  с  $t_0$  и  $n$ ,  $W_0$  с  $t_0, n, F$ ,  $W_0$  с  $t_0, n, F$  и  $W_{op}$

В работе представлены результаты подсчета погрешности уравнений (4-7). В целом по обуриваемому массиву погрешность составляет: -1,5% (уравнение (4)), +0,26% (уравнение (5)), +0,13% (уравнение (6)) и -0,19% (уравнение (?)).

Приведенные данные показывают, что все полученные модели можно рекомендовать для прогноза удельного электропотребления на обуриваемый массив. При этом точность прогноза во всех случаях приемлемая. Выбор той или иной прогнозной модели зависит от наличия на предприятии исходных данных.

Достоинством полученных моделей является возможность их использования и на предприятиях, на которых отсутствуют экспериментальные данные об электропотреблении буровых станков. Значения параметров  $t_0$ ,  $n$  и  $F$  в этих случаях можно взять из нормативных документов по буровзрывным работам, в которых приведены рекомендации по выбору оптимальных параметров режима бурения в зависимости от категории буримости горных пород.

Планируемый расход электроэнергии на отдельный буровой станок определяется по формуле

$$W_{zi} = \sum_{l=1, j=1}^{n, m} W_{T, y} \Pi_{ij}, \quad (8)$$

где  $W_{T, y}$  - технологическая удельная норма для  $i$ -го бурового станка на  $j$ -м горизонте, кВт.ч/пог.м;  $\Pi_{ij}$  - план бурения скважин на расчетный период  $i$ -м буровым станком на  $j$ -м горизонте в соответствии с планом горных работ, пог.м.

При использовании на предприятии небольшого числа буровых станков (одного-двух типов) расход электроэнергии по производственному участку на планируемый период можно определить по плановым нормам и объемам буровых работ (метод технологических норм):

$$W_{z, n} = \sum_{l=1, j=1}^{n, m} W_{T, y} \Pi_{ij} + W_{e, yv}, \quad (9)$$

где  $W_{д.уч}$  - расход электроэнергии на вспомогательные нужды участка, кВт.ч.

На мощных предприятиях разработка месторождения ведется большим числом рабочих горизонтов при использовании значительного парка буровых станков нескольких типов. В этом случае, а также при планировании потребления электроэнергии в масштабе управления целесообразно расчеты проводить в матричной форме, что облегчает вычислительные процедуры и создание программ для ЭВМ.

Плановый расход электроэнергии, потребляемой всеми буровыми станками, определяется по формуле:

$$W_{з.п} = \dot{n} \cdot \dot{W}_T \cdot \dot{\Pi}_t \cdot \dot{n}_t, \quad (10)$$

где  $\dot{W}_T$  - матрица удельных технологических расходов электроэнергии на бурение скважин на различных горизонтах.

$$\dot{W}_T = \parallel W_{Tij} \parallel_{i \bar{j}}^{i-n, j-m}, \quad (11)$$

$\dot{\Pi}_t$  - транспонированная матрица плановой производительности буровых станков (на расчетный период)

$$\dot{\Pi}_t = \parallel \Pi_{ji} \parallel_{j \bar{i}}^{j-m, i-n}, \quad (12)$$

$W_{Tij}$  - технологическая удельная норма расхода электроэнергии  $i$ -го бурового станка при его бурении на  $j$ -м добычном горизонте, кВт.ч/пог.м;  $\Pi_{ji}$  - плановая производительность  $i$ -го бурового станка на  $j$ -м горизонте, пог.м;  $\dot{n}$  - единичная матрица;  $\dot{n}_t$  - транспонированная единичная матрица.

Перемножение матриц  $\dot{W}_T$  на  $\dot{\Pi}_t$  дает квадратную матрицу расхода электроэнергии на технологические нужды. Каждый элемент этой матрицы означает потребление электроэнергии  $i$ -м буровым станком при его работе на  $j$ -м горизонте.

Потери электроэнергии в питающих кабелях и трансформаторах можно представить матрицей потерь

$$\Delta W = A \dot{n}_t [(\dot{W}_T \dot{\Pi}_t)(\dot{W}_T \dot{R}_t)] \dot{n}_t, \quad (13)$$

где  $\dot{R}_t$  - транспонированная матрица активных сопротивлений питающих кабелей и трансформаторов передвижных КТП;  $A$  - коэффициент, определяемый по формуле

$$A = \frac{(1 + tg^2 \varphi_{св}) 10^{-3}}{U_n^2 t_{св}}, \quad (14)$$

$tg \varphi_{св}$  - средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности буровых станков на данном месторождении;  $t_{св}$  - средневзвешен-

ное время бурения 1 метра скважины, час.

Значения величин  $t_{\text{св}}$  и  $t_{\text{г}} \psi_{\text{св}}$ , а также расходы электроэнергии на вспомогательные нужды участков буроварывных работ по остальным статьям определяются по формулам, приведенным в работе.

При планировании (прогнозе) электропотребления на пятилетку целесообразно использовать статистические модели месторождений. При этом предполагается, что продвижение фронта горных работ всех добычных горизонтов в целом за 5 лет одинаковое. Возможная нарезка в планируемом периоде нового добычного горизонта учитывается при построении статистической модели месторождения (путем включения в обработку данных, полученных при выполнении перебуров на предыдущем горизонте).

Планируемый расход электроэнергии на пятилетку определяется по формуле

$$W_{\text{э.п.}} = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{s=1}^K W_{Ts} \psi_s \right) \Pi_i + \sum_{t=1}^T W_{\text{д.эт}}, \quad (15)$$

где  $i$  - номер бурового станка;  $n$  - число буровых станков;  $W_{Ts}$  - удельный технологический расход электроэнергии на бурение 1 м скважины, соответствующей  $S$ -й разрядной частоте функции распределения, кВт.ч/м;  $\psi_s$  -  $S$ -я разрядная частота функции распределения;  $K$  - количество разрядных частот;  $\Pi_i$  - планируемый объем бурения на  $i$ -й станок (на пятилетку), м;  $W_{\text{д.эт}}$  - расход электроэнергии на вспомогательные нужды участка в  $t$ -году пятилетки;  $T$  - число лет в планируемом периоде.

Возможное изменение в планируемом периоде буримости пород, структуры бурового оборудования и вспомогательных расходов электроэнергии учитывается путем корректировки величин  $W_{Ts}$  и  $W_{\text{д.эт}}$ .

Величина плотности вероятности функции распределения (при нормальном законе) определяется по формуле

$$\psi_s = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(W_{Ts} - W_{T\text{ср}})^2}{2\sigma^2}} \quad (16)$$

Контроль планового (нормативного) расхода электроэнергии осуществляется по истечении планируемого периода с учетом фактически выполненных объемов бурения каждым буровым станком и мест их бурения.

В работе выполнен анализ известных методов оценки буримости горных пород. Сформулированы требования к методам оценки буримости

горных пород. Разработан метод оценки буримости горных пород по полной удельной энергоемкости бурения, в наибольшей степени отвечающий этим требованиям.

Предлагаемый критерий оценки буримости горных пород имеет ряд преимуществ по сравнению с известными методами. При бурении крепких пород повышается точность оценки буримости до 27% по сравнению с известными методами.

При измерении полной удельной энергоемкости бурения не требуются специальных устройств, для этой цели вполне пригодны обычные электросчетчики (класса I,5), установленные на КТП и буровых станках, что облегчает внедрение предлагаемого способа в производство.

Предлагаемый способ является более информативным по сравнению с известными, полученную информацию можно использовать также для нормирования, планирования и прогноза электропотребления буровых станков, участков и управлений по производству буровзрывных работ.

Полная удельная энергоемкость бурения, как критерий оценки буримости горных пород, удовлетворяет также требованиям буровой техники на ближайшую перспективу. В ряде работ доказана целесообразность применения регулируемой подачи воздуха в скважину. Применение в этом случае полной удельной энергоемкости бурения в качестве критерия оценки буримости горных пород обеспечивает более высокую точность по сравнению с известными методами.

Значения полной удельной энергоемкости бурения можно использовать для построения технологических шкал буримости горных пород для станков любых типов шарошечного и ударно-вращательного бурения. Необходимым условием построения такой шкалы является наличие тесной корреляционной связи между величинами  $W_0$  и  $t_0$ . На основе данных экспериментальных измерений величин  $W_0, t_0$  и производительности буровых станков строятся уравнения регрессии зависимости  $W_0$  от  $t_0$ , используемых в дальнейшем для создания технологических шкал буримости горных пород. Так, например, для Полонского месторождения гранитов получены уравнения регрессии:

станки СВШ-250 (горизонты I80; 2I2,8; 227)

$$W_0 = 3,8 t_0 + 0,17 (R_{W_0, t_0} = 0,7) \quad (I7)$$

станки СВШ-320 (горизонты I95,5; I80)

$$W_0 = 3 t_0 + 5,23 (R_{W_0, t_0} = 0,76) \quad (I8)$$

По уравнениям (I7) и (I8) построены шкалы буримости (см. таблицу). В качестве бурового инструмента использовались долота типа ОКП-243 и ОКП-320.

Таблица

Категория пород по ЦЕНТ	Удельная энергоёмкость бурения (полная), $W_0$ кВт.ч/пог.м.	
	СВШ-320	СВШ-250
УШ	-	6,06 - 7,96
IX	-	7,97 - 8,07
X	-	8,08 - 10,77
XI	-	10,78 - 11,42
XII	11,86 - 14,26	11,43 - 14,19
XIII	14,27 - 15,79	14,20 - 16,89
XIV	15,80 - 18,18	16,90 - 19,66
XV	18,19 - 19,69	19,67 - 25,10
XVI	19,70 - 23,44	25,11 - 28,02
XVII	23,45 - 24,55	28,03 - 34,83
XVIII	24,56 - 29,08	34,84 - 39,35

В содружестве с Винницким политехническим институтом разработана программа обработки экспериментальных данных и построения шкал буримости горных пород на ЭВМ ЕС-1020, записанная на алгоритмическом языке Фортран-IV.

Шкалы буримости используются для нормирования, планирования и контроля расхода материалов, энергии, зарплаты, инструмента и др.

Объем бурения в метрах по обуриваемому массиву (горизонту) определяется из выражения

$$P_{\Sigma i} = P_{ГМi} / P_{0,Г}, \quad (19)$$

где  $P_{ГМi}$  - план производства горной массы на  $i$ -и обуриваемом массиве (горизонте), м<sup>3</sup> (в целике);  $P_{0,Г}$  - средний выход горной массы с 1-го метра скважины, м<sup>3</sup>/м (определяется опытным путем).

Планы расхода материальных и энергетических ресурсов на бурение определяется по формуле

$$N_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{0,pij} \Pi_{ij}, \quad (20)$$

где  $H_{0,pij}$  - удельный нормативный расход ресурса при бурении пород  $j$ -й категории  $i$ -м буровым станком;  $\Pi_{ij}$  - план бурения пород  $j$ -й категории  $i$ -м буровым станком, м;  $n$  - число буровых станков;  $m$  - число категорий пород.

Проверка возможности выполнения производственной программы имеющимися в наличии (или проектируемыми) буровыми станками производится с учетом категорий пород и технического состояния буровых станков по формуле:

$$n_s = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{H_{0,ij} \Pi_{ij}}{T_r - T_{pi}}, \quad (21)$$

где  $n_s$  - необходимое число буровых станков;  $H_{0,ij}$  - норма времени для  $i$ -го станка при бурении пород  $j$ -й категории, машиночас/м;  $T_r$  - годовой фонд рабочего времени бурового станка, ч;  $T_{pi}$  - время нахождения  $i$ -го бурового станка в ремонте согласно ППР, ч;  $n$  - число действующих или планируемых буровых станков.

Годовой фонд зарплаты на бурение скважин

$$Z_3 = K_g \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{pij} \Pi_{ij}, \quad (22)$$

где  $E_{pij}$  - расценка на бурение в породах  $i$ -й категории  $j$ -м буровым станком, руб./м;  $K_g$  - коэффициент, учитывающий премии и оплаты работы в ночное время.

При большом количестве буровых станков плановый расход соответствующего вида ресурса определяется из выражения

$$N_p = n_t \dot{H}_0 \dot{\Pi}_t \dot{n}, \quad (23)$$

где  $\dot{H}_0$  - матрица нормативных удельных расходов ресурса.

Контроль расходования ресурсов осуществляется по истечении планового периода. По фактической удельной энергоемкости бурения уточняются средние категории пород и соответствующие им плановые расходы электроэнергии, материалов, инструментов и зарплаты, которые сравниваются с фактическими показателями. Одновременно полученные данные служат для уточнения шкал буримости горных пород.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате проведенных исследований разработан метод нормирования электропотребления на буровые работы и способ определения буримости горных пород.

Основные результаты можно сформулировать следующим образом:

1. Разработана методика нормирования и планирования расхода электроэнергии на буровые работы с учетом вероятностного характера горных пород, позволяющая повысить точность нормирования по сравнению с применением коэффициентных методов.

2. Предложены методы прогноза удельного и общего расходов электроэнергии на обуриваемый массив и в целом по месторождению, основанные на использовании технологических удельных норм и статистических моделей распределения удельного электропотребления, построенных с учетом бурения на всех добычных горизонтах.

3. Разработан метод оценки буримости горных пород по полному удельному электропотреблению, обеспечивающий простоту получения информации и оценки буримости.

4. Предложены рекомендации по снижению удельных расходов электроэнергии на буровзрывные работы, обеспечивающие значительную экономию электроэнергии и материальных ресурсов.

5. Разработана отраслевая инструкция по нормированию расхода электроэнергии на буровые работы.

6. Проведенные исследования, предложенные методы нормирования электроэнергии на буровые работы, способ определения буримости горных пород, рекомендации по снижению удельных расходов электропотребления нашли практическое применение и внедрение в управлении СПУ "Тернопольдорвзрывпром" (экономический эффект 64,5 тыс.руб.).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Шишков В.З., Соловей А.И., Рогальский Б.С., Штогрин Е.А. Выравнивание графиков нагрузки на предприятиях нерудной промышленности. - Энергетика и электрификация, 1973, № 5.

2. Рогальский Б.С., Романюк И.М., Светланов А.В., Штогрин Е.А. Нормирование расхода электроэнергии на предприятиях строительной индустрии. - В кн. Информационные и моделирующие системы в электронике и электроэнергетике. Сб. науч. тр. Киев, Наукова думка, 1980, с.165-169.

3. Рогальский Б.С., Штогрин Е.А., Быковный Я.И., Трайчук В.И. Нормирование расхода электроэнергии на буровые работы.- Промышленная энергетика, 1980, № 12, с.18-21.

4. Рогальский Б.С., Штогрин Е.А. Рациональное использование электроэнергии на производственных участках буровзрывных работ.- Информац. листок № 197, 1982, Львов ЦНТИ УкрНИИТИ.

5. Штогрин Е.А. Таблица буримости горных пород.-Информ. листок № 219, 1982.

6. Штогрин Е.А., Рогальский Б.С., Романюк И.М. Особенности учета и нормирования расхода электроэнергии на бурение скважин станками шарошечного и ударно-вращательного бурения.- Информ. листок № 100, 1982.

7. Штогрин Е.А., Рогальский Б.С., Романюк И.М., Дмитраш А.В. Оценка буримости горных пород и электропотребление на открытых горных разработках. Изв. ВУЗ, Электромеханика, № 12, 1982, с.91-92.

8. Рогальский Б.С., Штогрин Е.А. Рациональный способ компенсации реактивной мощности, потребляемой буровыми станками.- Информ. листок № 120, 1983, Львов ЦНТИ, УкрНИИТИ.

9. Рогальский Б.С., Штогрин Е.А., Дмитраш А.В. Метод расчета и снижения потерь электроэнергии в карьерных электрических сетях.- В сб.: Эффективность и качество электроснабжения промышленных предприятий. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. Жданов, 1983, с.325 с ил.

10. Рогальский Б.С., Штогрин Е.А., Кушнир И.С. Оценка буримости пород на открытых горных разработках.- Горный журнал № 12, 1985, с.41-44.

11. Рогальский Б.С., Штогрин Е.А. Планирование расходов на буровые работы в карьерах. Изв. вузов. Горный журнал, 1986, № 4, с.93-98.

12. Рогальский Б.С., Дмитраш А.В., Штогрин Е.А. Прогноз и нормирование электропотребления на обуриваемый массив. Изв. вузов. Энергетика, 1990, № 5.

Подписано к печати 25.11.93г. Формат бумаги 60x84 1/16. Печать офсетная ротопринтная. Бумага писчая белая. Печатных листов 1. Заказ 1445. Тираж 40

Тернополь, ул. Над Ставом, 10. Областное управление статистики. Отдел оперативной полиграфии



*Ab 29.061*  
**AB 29.061**