ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
Том 75 ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА 1954 г.

К ВОПРОСУ О ФОРМУЛЕ БУРЕНИЯ И О РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЕ ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

П. М. АЛАБУЖЕВ

1. В работе доц. А. И. Медведко „Формула бурения“ [1] отмечается, что „Техника бурения шпуров из года в год прогрессирует, но теория этого процесса по существу еще не создана“ [1, 13].

Изучением разрушения горных пород весьма обстоятельно занимались ученые В. С. Федоров [2], Е. Ф. Эпштейн [3], Л. А. Шрейнер [4], П. А. Ребиндер [5], Б. К. Бучнев [6], И. С. Покровский [7] и многие другие. Каждым исследователем предлагается своя точка зрения, свой подход к рассматриваемому вопросу, но, как отмечает А. И. Тер-Григорьян, „Ни одна из предложенных формул, определяющих буримость горных пород, не может претендовать на полноту. Сложную задачу установления буримости горных пород можно будет считать разрешенной тогда, когда будет дано уравнение, связывающее механическую скорость бурения с физическими свойствами породы и среды, элементами режима бурения, параметрами долота и его переменным износом“ [8, 36].

На основании ознакомления с работами по разрушению горных пород [1—8], а также физикой твердого тела чл.-корр. АН СССР В. Д. Кузнецова [9] и механикой горных пород проф. П. М. Цимбаревича [10] автор статьи делает попытку рассмотреть вопрос о формуле бурения с точки зрения теории размерностей.

Анализ размерностей, как метод предварительного изучения явлений природы, часто применяется при изучении разделов физики, механики, гидродинамики, аэродинамики и прочно вошел в учебную и научную литературу [11—22]. Не останавливаясь на разнообразии точек зрения, касающихся учения о размерности и достаточно полно освещенных в труде проф. М. Ф. Маликова [18], отметим, что на основе анализа размерностей имеется возможность установления „Структуры функциональных связей между физическими величинами“ [15] и в том случае, когда отсутствует диференциальное уравнение, описывающее процесс; причем, имеется возможность установления связей не только между физическими величинами, характеризующими явление, но и между их безразмерными комбинациями, т. е. как связи между критериями подобия. Таким образом, облегчается постановка эксперимента, его направленность, обработка и систематизация полученных опытных данных.

Проф. К. М. Поливанов пишет: „Методы теории подобия и анализ размерностей чрезвычайно близки, и различие между ними может быть усмотрено только в том, что анализ размерностей не рассматривает основных уравнений именно данной частной системы, процессы в которой могут определяться только частью общих уравнений, лежащих в основе выбранной системы единиц“ [20, 233]. И несколько далее... „Однако и это различие стирается в тех случаях, когда для большей определенности решения при анализе пользуются системой единиц, специально конструируемой так, чтобы быть наиболее удобной для анализа процессов именно данной системы [20, 234].

В XX веке была доказана основная теорема теории подобия и теории размерностей о возможности выражения физических законов в виде зависимости между безразмерными числами (называемыми критериями подобия), характеризующими явление, так называемая П-теорема, автором которой несправедливо называют американского физика Букингема [14; 15], опубликовавшего доказательство в 1914 году. „В действительности П-теорема впервые нашла практические приложения в России до появления статьи Букингема. В 1911 году появилась работа преподавателя С. Петербургского политехнического института А. Федермана, доказавшего более общую теорему, из которой П-теорема выводится как следствие. Недавно было установлено, что П-теорема уже в 1909 году использовалась в работах Кучинского аэродинамического института, организованного и работавшего под руководством Н. Е. Жуковского. Доказательство этой теоремы опубликовано в трудах Кучинского института в 1912 году“ [21, 99].

Добавим, что заимствование результатов со ссылкой на эти работы содержится в книге Л. Чивита и У. Амальди [12, 370] и известно в литературе под названием „Метода нулевых размерностей“ [12; 13; 17].

2. Метод нулевых размерностей основан на теореме однородности формул физических величин.

Если существует функциональное соотношение между рядом размерных (u_i) и безразмерных (c_i) величин вида: $f(u_1,\ u_2, u_n \ldots c_1,\ c_2 \ldots c_m) = 0$ Из этого уравнения любая величина может быть выделена и представлена в функции остальных величин, например:

$$u_1 = f_1(u_2,\ u_3 \ldots u_n,\ c_1,\ c_2 \ldots c_m). \qquad (1)$$

Выберем из аргументов три каких-либо независимых между собою величины, например, u_2, u_3, u_4 и примем их за основные единицы нашей системы[1]); тогда остальные величины u_1, $u_5 \ldots u_n$ будут производными в этой новой системе единиц и могут быть выражены через основные единицы u_2, u_3, u_4. Размерность u_1 в новой системе будет $[u_1] = u_2^p . u_3^q . u_4^z$; уравнение (1) должно обладать тройной однородностью относительно u_2, u_3, u_4. Заменяя (1) значения u_2, u_3, $u_4 \ldots u_n$ отношениями этих величин к их размерностям в новой системе (u_2, u_3, u_4), получим:

$$\frac{u_1}{u_2^p . u_3^q u_4^r} = \Phi\left(1,\ 1,\ 1,\ \frac{u_5}{[u_5]_{2,3,4}},\ \ldots.\ \frac{u_n}{[u_n]_{2,3,4}};\ c_1, c_2 \ldots c_m\right).$$

Здесь $\dfrac{u_i}{[u_i]_{2,3,4}}$ обозначает безразмерную величину—Π_i (критерий подобия), равную отношению величины u_i к её размерности в системе единиц (u_2, u_3, u_4), причем, очевидно, что $\dfrac{u_2}{[u_2]_{2,3,4}} = 1$; $\dfrac{u_3}{[u_3]_{2,3,4}} = 1$; $\dfrac{u_4}{[u_4]_{2,3,4}} = 1$. Между безразмерными выражениями существует зависимость

$$\Pi_1 = \Phi(\Pi_5,\ \Pi_6 \ldots \Pi_n) \text{ (это и есть П-теорема)}$$

---

[1]) Величины u_2, u_3, u_4 между собою не зависимы, если определитель, составленный из показателей их размерностей, не равен нулю, т. е.

$$\Delta = \begin{vmatrix} p_1 & q_1 & r_1 \\ p_2 & q_2 & r_2 \\ p_3 & q_3 & r_3 \end{vmatrix} \neq 0.$$

или

$$u_1 = u_2^p \cdot u_3^q \cdot u_4^r \cdot \Phi(\Pi_5,\ \Pi_6 \ldots \Pi_n;c_1\, c_2 \ldots c^m).$$

Если число физических параметров равно n, а число основных единиц равно k (обычно $k=3$), то независимых безразмерных выражений будет равно $n-k$.

Очевидно, чем меньше разность $n-k$, тем легче и увереннее можно найти вид функции Φ, связывающей безразмерные величины.

В качестве примера приложения метода нулевых размерностей найдем уравнение термодинамического состояния идеального газа, если известно, что оно должно содержать четыре размерные величины

$$\Phi(p,\ v,\ R,\ T)=0$$

или

$$v=f(p, R. T).$$

Здесь

$$n=4,\quad k=3,\quad n-k=1$$

следовательно, должно быть одно безразмерное выражение. Найдем размерности величин в системе $(m-l-t)$:

давление, $кг\ см^2$ $[p]=\dfrac{mlt^{-2}}{l^2}=ml^{-1}\cdot t^{-2}$, (1)

удельный объем, $см^3\ кг$ $[v]=\dfrac{l^3}{mlt^{-2}}=m^{-1}\cdot l^2 \cdot t^2$, (2)

температура, $кг.\ см$ $[T]=[mv^2]=ml^2 \cdot t^{-2}$, (3)

газовая постоянная, $кг.м/$кг. град $[R]=[l.T^{-1}]=m^{-1}\cdot l^{-1}\cdot t^2$. (4)

Возьмем в качестве основной системы единиц $(p,\ R,\ T)$. Величины p, v, T между собою независимы, так как определитель, составленный из показателей их размерностей

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1, & -1, & -2 \\ -1, & -1, & 2 \\ -1, & 2, & -2 \end{vmatrix} \neq 0.$$

Найдем размерности всех величин в этой новой системе единиц $(p,\ R,\ T)$.

$$[p]=1;\ [R]=1;\ [T]=1;\ [v]=m^{-1}\cdot l^2\cdot t^2$$

из (4)

$$m^{-1}=\frac{R}{l^{-1}.t^2};\ \text{из}\ (3)\ l^2=\frac{T^2}{mt^{-2}};\ \text{из}\ (1)\ t^2=\frac{ml^{-1}}{p},$$

тогда $$[v]=m^{-1}.l^2.t^2=\frac{R}{l^{-1}.t^2}\cdot\frac{T}{mt^{-2}}\cdot\frac{m.l^{-1}}{p}=\frac{RT}{p}.$$

Заменяя v, p, R, T отношениями этих величин к их размерностям в новой системе $(p,\ R,\ T)$, будем иметь:

$$\frac{v}{\frac{RT}{p}}=\Phi(1,\ 1,\ 1)=\mathrm{const}=c.$$

Из опыта определяем $c=1$. Следовательно, $pv=RT$.

Как известно, уравнение состояния идеального газа можно графически изобразить в виде термодинамической поверхности в координатах: p, v, T.

3. Посмотрим, какие указания дает теория размерностей в отношении изучения разрушения горных пород. Рассмотрим данный вопрос с точки зрения проходки и потребляемой мощности.

Согласно утверждению проф. Л. А. Шрейнер о том, что скорость бурения обратно пропорциональна твердости [4], следует, что для крепких пород должна увеличиваться и степень их измельчания (дисперсности β. Далее, если учесть соображения проф. П. М. Цимбаревич [10] по теории добываемости, то скорость бурения является (в первом приближении) функцией следующих величин:

$$v = \Phi(N,\ D,\ d,\ \beta),$$

где v — скорость бурения , $\frac{см}{сек}$;

N — мощность, $\frac{кг.м}{сек}$;

D — добываемость, $\frac{см^2}{кг.м}$;

d — диаметр долота, *см*;

β — дисперсность, 1/*мм*.

Если в качестве основных независимых единиц примем N, D, d (нетрудно показать, что $\Delta \neq 0$), тогда

$$\frac{v}{DNd^{-1}} = \Phi\left(1,\ 1,\ 1, \frac{\beta}{d^{-1}}\right) = \Phi(\beta d).$$

Вид функции Φ определяется из опыта.

Если скорость бурения обратно пропорциональна твердости породы, а следовательно, и дисперсности, то можно положить, что $\Phi(\beta d) = \frac{c}{\beta d}$, где c — const. Тогда $v = \frac{DN}{d} \cdot \frac{c}{\beta d} = k\frac{N}{d^2}$ (формула Медведко А. И.) Здесь коэффициент $k = \frac{c.D}{\beta}$ должен быть найден из опыта. При указанных предположениях скорость бурения пропорциональна мощности и обратно пропорциональна квадрату диаметра.

Кстати заметим, что работа разрушения хрупких тел обратно пропорциональна дисперсности разрушаемого материала (закон Риттингера), а по закону подобия (В. Л. Кирпичева) пропорциональна объемам деформируемых тел. Как отмечает Л. А. Шрейнер, при уменьшении линейных размеров тела прочность его увеличивается: „Закон подобия с поправкой на масштабный фактор должен находиться в соответствии с практическими данными. Другого и нельзя ожидать, так как физически он вполне обоснован, как и закон Риттингера" [4, 161].

Скорость бурения v зависит от качества инструмента, режима бурения, свойств разрушаемой среды, системы разработки и организации работы.

Будем рассматривать физико-техническую сторону вопроса, тогда скорость бурения

$$v = \Phi\ \underbrace{(Q_\partial,\ d, l, \alpha, e}_{\text{параметры долота}}\ ,\ \underbrace{\Theta,}_{\text{износ}}\ \underbrace{R_z,\ \mu,\ \lambda}_{\text{свойства среды}}\ ,\ \underbrace{N,\ M_{кр},\ A_б,\ P,\ \omega,\ v_б,\ z)}_{\text{режим бурения}}\ ,$$

где: $Q_д$ — вес долота, *кг;*
d — диаметр долота, *см*;
α — угол приострения долота, $[\alpha]=1$;
e — число перьев долота, $[e]=1$;
Q — износ долота от сил трения, *кг см*^{2};
R_z — абсолютная твердость породы, *кг/см*^{2};
μ — коэффициент трения между средой и долотом, $(\mu)=1$;
λ — коэффициент очистки забоя, $[\lambda]=1$;
N — потребляемая мощность машиной, л. с. (*квт*);
$M_{кр}$ — крутящий момент на долоте, *кг/м*;
$A_б$ — работа одного удара на бойке, при ударно-вращательном бурении, *кг.м*;
P — усилие подачи, *кг*;
ω — угловая скорость вращения долота, 1/сек;
$v_б$ — скорость бойка в момент удара, *см/сек*;
Z — число ударов бойка в мин., уд/мин.

Здесь имеем тринадцать размерных величин и четыре безразмерных. Примем за основные независимые величины: p, d, ω; в этом случае $(\Delta \neq 0)$. $n-k=13-3=10$. Таким образом, при данной постановке задачи имеем десять безразмерных выражений

$$\frac{v}{d\omega}=\Phi\left(\frac{Q_д}{P}, \frac{l}{d}, \frac{Q}{Pd^{-2}}, \frac{P_z}{Pd^{-2}}, \frac{N}{Pd\omega}, \frac{M_{кр}}{Pd}, \frac{A_б}{P.d}; \frac{v_б}{d\omega}, \frac{z}{\omega}\right)$$

объёдиненных между собою функцией Ф. В общем случае нахождение функции Ф весьма сложное. Исходя из размерности аргументов, возникает мысль о связи между:

1) износом долота и твердостью породы, т. е. $\theta=\Phi_1\,(R_z)$,
2) между работой на бойке и крутящим моментом: $M_{кр}=\Phi_2\,(A_б)$,
3) мощностью машины, скоростью бойка и усилием подачи, т. е. $N=\Phi_3(P,\ v)$.

С целью выявления основных связей и соотношений введем некоторые упрощающие допущения.

При вращательном бурении роль $A_б$ не существенна, тогда при одних и тех же параметрах инструмента и в одном и том же режиме работы бурильной машины, пренебрегая износом, имеем:

$$v=\omega.d.\Phi\left(\frac{R_z}{P.d^{-2}}\right)$$

вид функции Ф находится из опыта.

Если предположить $\Phi\left(\frac{R_z}{P.d^{-2}}\right)=\frac{P.d^{-2}}{R_z}$, догадкой или наводящей мыслью является очевидное условие, что скорость проходки уменьшается с увеличением твёрдости породы, тогда скорость бурения будет обратно пропорциональна твёрдости породы, т. е.

$$v=\omega d.\frac{P}{R_z d^2}=\frac{\omega P}{R_z.d}=k.\frac{P}{R_z}\ ^{1)}$$

---

1) Согласно данным проф. Л. А. Шрейнера, объемная скорость разрушения

$$v=a.\frac{\omega}{v}.\ P=k'\frac{P}{v}.$$

Здесь a—размерный коэффициент, ω—скорость перемещения, $p=R_z$ — твёрдость на вдавливание, P—нагрузка, k'—размерный коэффициент [4, 149—151].

По Шрейнеру Л. А., при разработке рациональных режимов бурения следует исходить из твёрдости горных пород.

Если при одной и той же твердости породы нас интересует скорость проходки в зависимости от мощности, то не трудно получить структуру формулы:

$$v = \omega d . \Phi\left(\frac{N}{P . d\omega}\right).$$

Если положить, что

$$\Phi\left(\frac{N}{Pd\omega}\right) = k . \frac{N}{Pd\omega},$$

где $k = \mathrm{const}$, определяемая из опыта, тогда $v = k . \dfrac{N}{P}$.

При одной и той же мощности скорость бурения обратно пропорциональна силе подачи (при избыточном давлении велики силы трения между долотом и породой). При оптимальном режиме „величина осевого давления должна соответствовать мощности бурильной машины“ [6].

При одной и той же энергии удара, для одной и той же среды, в известных границах, скорость бурения пропорциональна числу ударов

$v = d\omega . \Phi\left(\dfrac{z}{\omega}\right)$, если положим $\Phi\left(\dfrac{z}{\omega}\right) = \dfrac{z}{\omega} . k,$

то

$$v = kdz = k' . z.$$

Сохранение линейности, скорости проходки от числа ударов (или оборотов) в более широких пределах, очевидно, сопровождается одновременным увеличением давления и мощности бурильной машины $\left(v = k . \dfrac{N}{P} = k' . z .\right)$.

4. При совместном действии ряда факторов на процесс бурения нахождение функции Ф, характеризующей скорость бурения v, является сложным и, очевидно, основные закономерности скорее всего будут вскрыты экспериментальным путем с рациональной обработкой опытных данных.

Исходя из структуры общей формулы, возникает мысль о постановке экспериментов по выявлению соотношений вида:

$$v = \omega . d . \Phi_1\left(\frac{Q_\partial}{P}, \frac{v_\partial}{\omega d}, \frac{A_б}{Pd}\right), \tag{1}$$

$$v = \omega d . \Phi_2\left(\frac{N}{\omega dP}, \frac{M_{кр}}{P . d}, \frac{z}{\omega}\right), \tag{2}$$

$$v = \omega d . \Phi_3\left(\frac{R_z}{P . d^{-2}}, \frac{\Theta}{Pd^{-2}}, \mu, \lambda\right), \tag{3}$$

$$v = \omega d\, \Phi_4\left(\frac{l}{d}, \alpha, e, \frac{Q_\partial}{P}\right). \tag{4}$$

По формуле (1) скорость бурения находится при ударном и ударно-вращательном бурении (как частный случай, при $M_{кр} = 0$, только при вращательном бурении) в функции соотношения соударных масс, энергии удара и скорости деформации; по формуле (2) скорость бурения определяется в зависимости от соотношения между безразмерными величинами, в которые определяющими входят мощность, крутящий момент и число оборотов; по формуле (3) определяется скорость разрушения в зависимости от износа инструмента и свойств среды; формула (4) дает представление о скорости бурения в зависимости от параметров долота и осевого давления; наконец, для увязки данных формул между собою. Можно дополнительно построить, на основании имеющихся опытов, номограмму:

$$v = \omega d . \Phi_5 \left(\frac{Q_д}{P}, \ \frac{l}{d} \cdot \ \frac{N}{\omega d P}, \ \frac{R_z}{Pd^{-2}} \right) \quad (5) \text{ и др.}$$

На основании полученного экспериментального материала можно построить ряд таблиц, графиков и монограмм, которыми в первом приближении, по частям, с различных сторон, отображается сложный процесс бурения. Например, можно выявить влияние на величину мощности машины, производящей бурение следующих критериев:

$$N = Pd\omega \, . \, f_1 \left(\frac{R_z}{Pd^{-2}}, \ \frac{M_{кр}}{Pd}, \ \frac{A_б}{Pd} \right),$$

$$N = Pd\omega . f_2 \left(\frac{z}{\omega}, \ \mu, \ \lambda \right),$$

$$N = P.d\omega.f_3 \left(\frac{l}{d}, \ \frac{Q_д}{P}, \ \alpha, \ e \right).$$

Несомненно, что более желательным было бы наличие единой формулы, связывающей все вышеуказанные величины; но удовлетворительной формулы, как отмечается в литературе, пока еще нет и на данной стадии развития науки по теории бурения вряд ли возможно получение в скором времени единой универсальной формулы, всесторонне охватывающей сложный (многогранный) процесс бурения,—формулы достаточно простой и удобной для практических приложений.

Не бесполезно вспомнить высказывание крупного русского ученого-теоретика, инженера-практика, основоположника горнозаводской механики И. А. Тиме о том, что „...величина погрешностей пропорциональна числу коэффициентов, а потому более простые (приблизительные) формулы, исправленные меньшим числом коэффициентов, могут часто оказаться на практике более точными, нежели более сложные“ [23, V].

При бурении пневматическими перфораторами скорость проходки

$$v = \Phi \, (\underbrace{Q_б, d, l, \alpha, e}_{\text{параметры бура}}, \ \underbrace{\Theta}_{\text{износ}}, \ \underbrace{R_z, \mu, \lambda}_{\text{свойства среды}}, \ \underbrace{S, Q_y, Q_м, D}_{\text{параметры перфоратора}}, \ \underbrace{p, H, M, N, A_б, P, n, z, h}_{\text{режим бурения}})$$

Здесь обозначено (дополнительно к рассмотренным выше):

S — ход ударника, *см*;

D — диаметр цилиндра молотка, *см*;

Q_y — вес ударника, *кг*;

$Q_м$ — вес молотка;

p — давление воздуха в цилиндре молотка, *кг/см²*;

H — расход воздуха, *м³/мин*;

h — зазор подачи, *мм*.

Опуская нахождение общего вида формулы, в зависимости от всех безразмерных параметров, остановимся на некоторых частных зависимостях.

При сравнении различных конструкций перфораторов, примерно, при одинаковых условиях работы, скорость проходки v при бурении можно полагать зависящей от давления воздуха p, числа ударов z, длины хода ударника S, веса ударника Q_y, диаметра цилиндра D, силы подачи P,

расхода воздуха H, мощности N, числа оборотов бура n, величины крутящего момента $M_к$ и крепости породы R_z,
т. е.

$$v = \Phi(p,\ z,\ S,\ Q_y,\ D,\ P,\ H,\ N,\ n,\ M_к,\ R_z)\,.$$

Выбирая в качестве основных единиц: p, S, z; $(\Delta \neq 0)$, получим:

$$\frac{v}{zS} = \Phi\left(1,1,1,\ \frac{Q_y}{pD^2},\ \frac{D}{S},\ \frac{P}{pD^2},\ \frac{H}{D^2Sz},\ \frac{N}{D^2Spz},\ \frac{n}{z},\ \frac{M_к}{pD^2S},\ \frac{R_z}{p}\right)$$

или

$$v = zS.\Phi\left(\frac{D}{S},\ \frac{n}{z},\ \frac{Q_y}{P},\ \frac{H}{D^2Sz},\ \frac{N}{D^2Spz},\ \frac{M_к}{pD^2S},\ \frac{R_z}{p}\right)$$

очевидно, можно построить номограммы:

$$v = zS.\,\Phi_1\left(\frac{D}{S},\ \frac{n}{z},\ \frac{Q_y}{P}\right);$$

$$v = z.S\,.\,\Phi_2\left(\frac{H}{D^2Sz},\ \frac{N}{D^2Spz},\ \frac{M_к}{pD^2S}\right);$$

$$v = zS\,.\,\Phi_3\left(\frac{R_z}{p}\right)$$

или для последней формулы $v = z.S.\xi$,
где в конечном счете $\xi = f\,(p)$.

Попутно можно построить графики:

$$H = f_1\left(\frac{N}{p}\right) \quad \text{и} \quad M_к = f_2\left(\frac{N}{z}\right).$$

Предположим, что нас интересуют значения крутящего момента на буре $M_к$ в зависимости от веса ударника Q_y, веса бура $Q_б$, числа ударов z, числа оборотов бура n и расхода воздуха H,
т. е.

$$M_к = f\,(Q_y,\ Q_б,\ z,\ n,\ H).$$

Выбирая в качестве основных единиц значения Q_y, z, H, $(\Delta \neq 0)$, получим:

$$M_к = Q_б\sqrt[3]{\frac{H}{z}}\ .\ \Phi\left(\frac{Q_б}{Q_y},\ \frac{n}{z}\right).$$

Эту зависимость можно изобразить в форме графика в безразмерных координатах: $\dfrac{M_к}{Q_б\cdot\sqrt[3]{H/z}}$ и $\dfrac{n}{z}$ с параметром $\dfrac{Q_б}{Q_y}$.

Аналогично, если нужно найти зависимость силы подачи P от давления p, числа ударов z, расхода воздуха H и числа оборотов бура n, т. е. $P = f\,(p,\ z,\ H,\ n)$, то принимая за основные величины p, z, H ; $(\Delta \neq 0)$, получим:

$$P = p\sqrt[3]{\left(\frac{H}{z}\right)^2}\,.\Phi\left(\frac{n}{z}\right).$$

Наконец, рассмотрим еще вопрос об энергии удара на бойке

$$A_б = \Phi(z,\ H,\ p,\ Q_б,\ N,\ n,\ M_к,\ P).$$

Принимая за основные величины z, H, p ; $(\Delta \neq 0)$, получим:

$$A_б = \frac{pH}{z} \cdot Ф \left(\frac{n}{z}, \frac{P}{Q}, \frac{N}{pH}, \frac{M_{кр}}{\frac{pH}{z}} \right).$$

Основанием теории размерностей и теории подобия является общественно-историческая производственная практика человечества в целом; связи, устанавливаемые на основании теории размерностей, являются лишь приближением (часто предварительным этапом исследования) и в то же время—связи, устанавливаемые на основе теории размерностей, в виде обобщенных закономерностей позволяют выделить наиболее общее и существенное: общую структуру формул, указывающих направление экспериментальных исследований. Постановка и задача эксперимента на основе теории размерностей и подобия упрощается и облегчается при наличии функциональной связи между целыми комплексами величин, определяющих явление, так как в ряде случаев нет надобности изучать влияние на процесс каждого фактора в отдельности и, кроме того, имеется возможность распространения, в известных границах, результатов опытов на серию подобных систем.

5. Задачей науки является изучение не только соотношений между объектами реального мира, а главное—изучение свойств самих объектов. Наряду с установлением обобщенных соотношений, даваемых теорией размерности (и которые не являются законченными и единственными), нужно глубже изучать специфику каждого явления, каждого процесса, в конкретных условиях—иначе, может произойти отрыв формы от содержания (и может возникнуть опасность идеализма). Эксперимент является одним из краеугольных камней познания, методом исследования, при помощи которого проверяется справедливость гипотез, догадок, моделей и устанавливаются значения ряда коэффициентов и показателей.

Имея правильные исходные предпосылки, важно знать все величины, характеризующие процесс разрушения горных пород при определенных условиях, а также значения ряда параметров и коэффициентов (роль массы, скорости деформации, режима работы данной машины, свойств разрушаемой среды: твердости, коэффициента трения и т. д., которые для горных пород изменяются в весьма широком диапазоне).

Наряду с задачей создания надежного и более эффективного инструмента для бурения необходимо исследование новых режимов бурения (создания более совершенных буровых машин) и применения ряда факторов, способствующих разрушению горных пород (понизители твердости, удаление буровой мелочи из шпура и т. д.).

Необходима постановка более тонкого эксперимента при изучении механизма разрушения горных пород, который нельзя представлять упрощенно, статически.

Очевидно, что вопрос о разрушении горных пород не может быть решен изолированно от других областей науки и техники.

Только сочетание теории и практики даст возможность избавиться от неуверенности в работе и от того голого эмпиризма, который, к сожалению, имеет еще место в области теории разрушения горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведко А. И. Формула бурения. Горный журнал, № 11—12, 1946.
2. Федоров В. С. Долотья для бурения на нефть. Азгостоптехиздат, Баку, 1941
3. Эпштейн Е. Ф. Теория бурения-резания горных пород твердыми сплавами. ГОНТИ, 1939.
4. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород. Гостоптехиздат. М.—Л., 1950.

5. Ребиндер П. А., Шрейнер Л. А., Жигач К. Ф. Понизители твердости в бурении. Изд. АН СССР, М., 1944.
6. Бучнев В. К. Буро-взрывные работы. Углетехиздат, М., 1950.
7. Покровский И. С. Теория ударного бурения. Горный журнал № 12, 1949.
8. Тер-Григорьян А. И. Долотья для вращательного бурения. Азнефтеиздат Баку—Ленинград, 1950.
9. Кузнецов В. Д. Физика твердого тела, т. V, Томск, 1949.
10. Цимбаревич П. М. Механика горных пород. Углетехиздат, М. 1948.
11. Кирпичев В. Л. Беседы о механике, ГИТТЛ, М., 1950.
12. Леви-Чивита и У. Амальди. Курс теоретической механики, т. I. гл. 9 ОНТИ. 1934.
13. Бухгольц Н. Н. Основной курс теоретической механики, ч. II, гл. 8. ГИТТЛ, М.—Л. 1939.
14. Бриджман В. В. Анализ размерностей (перевод под редакцией акад. Вавилова С. И.). ОНТИ, М.—Л., 1934.
15. Седов Л. И. Методы теории размерностей и теории подобия в механике. ОГИЗ, ГИТТЛ, М., 1944.
16. Горячкин В. П. Принцип подобия и однородности, теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин, т. I. Сельхозиздат, М.—Л., 1935.
17. Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика, ч. II, ОГИЗ, Гостехиздат, М. 1948.
18. Маликов М. Ф. Основы метрологии, ч. I, М. 1949. Изд. комитета по делам мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР.
19. Кирпичев М. В. Теория подобия как основа эксперимента. Юбилейный сборник АН СССР, ч. II, М, 1947.
20. Поливанов К. М. Физический словарь, т. IV. Теория подобия и размерностей. ОНТИ, 1938.
21. Воскресенский К. Д. Сборник задач по теплопередаче, Госэнергоиздат, М., 1951.
22. Сена Л. А. Единицы измерения физических величин. ГИТТЛ, М.—Л., 1951.
23. Тиме И. А. Справочная книга для горных инженеров и техников по горной части, Горнозаводская механика. СПБ, 1879.