3. Опредѣленіе наивыгоднѣйшихъ размѣровъ шахтнаго поля.

Л. М. Рутенберга.

(доложено 9 апрѣля).

До настоящаго времени мы, къ сожалѣнію, все еще не имѣемъ твердо установленной рудничной терминологіи, и это обстоятельство вынуждаетъ насъ, во избѣжаніе какихъ-либо неясностей, остановиться вначалѣ на нѣсколькихъ терминахъ, которые будутъ встрѣчаться въ дальнѣйшемъ изложеніи.

Согласно опредѣленію, предложенному Проф. Бокіемъ, рудникомъ называется предпріятіе, организованное для добычи полезнаго ископаемаго и связанное единствомъ концессіи, администраціи и эксплуатаціи.

Въ предѣлахъ земельнаго участка, занимаемаго рудникомъ, могутъ находиться одна или нѣсколько подъемныхъ шахтъ, причемъ каждая изъ нихъ обслуживаетъ нѣкоторую вполнѣ опредѣленную часть пласта или свиты пластовъ полезнаго ископаемаго. Площадь такой части пласта или свиты называется шахтнымъ полемъ.

Какъ и всякая площадь, шахтное поле измѣряется квадратными единицами, т. е. опредѣляется произведеніемъ двухъ линейныхъ величинъ.

Такими опредѣляющими линейными величинами для шахтнаго поля являются:

1) длина шахтнаго поля по линіи простиранія пластовъ и

2) наклонная высота его по линіи паденія.

Если данное шахтное поле имѣетъ по простиранію „S“ саженей и по паденію „B“ саж., и если производительность пласта или свиты, т. е. число пудовъ полезнаго ископаемаго, приходящееся на 1 квадр. саж. поля, назовемъ черезъ „Σp“, то очевидно, что запасъ полезн. ископ. „T“, соотвѣтствующій данному шахтному полю, выразится:

$$T = \Sigma p . S . B \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

При проэктированіи рудника намъ, однако, приходится для каждой шахты имѣть дѣло съ обратнымъ случаемъ: обыкновенно мы имѣемъ заданными „T“ и „Σp“, опредѣлять же приходится „S“ и „B“.

Другими словами—для такого случая равенство (I) обращается въ уравненіе съ двумя неизвѣстными, и очевидно, что въ предѣлахъ даннаго участка мы можемъ выбрать для „S“ и „B“ множество различныхъ комбинацій, удовлетворяющихъ выраженію (I).
Ясно, что изъ всѣхъ этихъ комбинацій мы должны остановиться на наиболѣе выгодной.

На практикѣ, большей частью величиною „S“ задаются по опытнымъ даннымъ болѣе или менѣе приблизительно и тогда, понятно, не представляется уже никакихъ затрудненій для опредѣленія наклонной высоты шахтн. поля „B“ и соотвѣтствующей глубины вертикальной шахты.

Но, къ сожалѣнію, наши инженеры-практики весьма скупо дѣлятся своимъ опытомъ, и въ спеціальной литературѣ отсутствуютъ какія-либо данныя по этому вопросу.

Только въ статьѣ Проф. Б. И. Бокія: „Выборъ системы работъ при разработкѣ свиты пластовъ“ *) мы встрѣтили слѣдующую формулу для опредѣленія длины шахтн. поля по простиранію:

$$S = 2 S_1 = \sqrt{\frac{2k . H . l_s}{r_s}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

---

*) Спб. 1904 г., стр. 7.

Здѣсь:

S — длина (въ саж.) всего шахтнаго поля по простиранію,

$S_1 = \frac{S}{2}$ — длина шахтн. поля съ каждой стороны шахты,

k — стоимость проведенія 1 пог. саж. шахты (въ рубляхъ),

H — глубина шахты (въ саж.),

l_s — мѣсячная скорость подвиганія забоевъ (въ саж.).

r_s — средняя мѣсячная стоимость содержанія 1 пог. саж. этажнаго штрека (въ руб.)

Какъ видимъ изъ формулы (2), длина шахт. поля по простиранію увеличивается:

1) съ увеличеніемъ стоимости проведенія 1 пог. саж. шахты,

2) съ увеличеніемъ глубины шахты,

3) „ „ скорости подвиганія забоевъ,

4) „ уменьшеніемъ стоимости содержанія штрековъ.

Однако, при болѣе внимательномъ разсмотрѣніи оказывается, что формула (2) выведена въ предположеніи, что срокъ существованія шахты „M“ (мѣсяц.):

$$M = \frac{S_1}{l_s} \quad \ldots (2')$$

Допустивъ, какъ это въ дѣйствительности и бываетъ, что разработка поля ведется этажами, и принявъ во вниманіе вышеприведенныя значенія „S_1“ и „l_s“, легко убѣдиться, что частное

$$\frac{S_1}{l_s}$$

представляетъ собою срокъ существованія одного этажа.

И такимъ образомъ, формула (2) вѣрна только для одного частнаго случая разработки всего шахтнаго поля однимъ этажемъ.

Для общаго же случая—когда шахтное поле разрабатывается „n“ этажами, придется ввести поправку въ формулу (2), а именно—принять, что срокъ существованія шахты будетъ въ „n“ разъ больше прежняго:

$$M = n.\frac{S_1}{l_s}$$

И тогда послѣ соотвѣтственныхъ подстановокъ получимъ:

$$S = \sqrt{\frac{2\,k.H.l_s}{n.\,r_s}} \quad \ldots (3)$$

Въ такомъ видѣ формулу для „S“ можно использовать для случая концессіи II-го типа (по классификаціи Проф. Бокія*), когда глубина шахты „H“ является величиной извѣстной по необходимости—въ силу арендnаго договора или другихъ какихъ-либо условій.

Въ самомъ же общемъ случаѣ, когда мы не ограничены никакими условіями, и должны стремиться къ выбору наиболѣе выгодныхъ размѣровъ—формула (3) представляется весьма неудобной, ибо глубина закладываемой шахты „H“ является, какъ увидимъ ниже, функціей отъ „S“:

$$H = f(S) \quad \ldots (4)$$

Точно также и

$$n = \varphi(H) = \psi(S) \quad \ldots (5)$$

Совмѣстное же рѣшеніе уравненій (3), (4) и (5), при условіи, что величинами: „k“, „l_s“, и „r_s“ мы зададимся, приводитъ къ весьма сложному уравненію высшаго порядка, ввиду чего практическое примѣненіе вышеприведенныхъ формулъ (2) и (3) является по меньшей мѣрѣ неудобнымъ.

Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что при помощи того же метода, какимъ была получена Проф. Бокіемъ формула (2), можно было бы вывести болѣе удобную формулу, приводящую при упомянутыхъ условіяхъ къ обыкновенному квадратному уравненію. Дѣйствительно, пусть по-прежнему:

S (саж.) — наиболѣе выгодная длина шахтнаго поля по простиранію

H („) — глубина соотвѣтствующей вертикальной шахты.

M (лѣтъ) — срокъ существованія шахты.

k (руб.) — стоимость проведенія 1 пог. саж. шахты.

r_s („) — средняя годовая стоимость содержанія 1 пог. саж. этажнаго штрека.

Пусть шахтное поле раздѣлено на „n“ этажей, тогда разработка каждаго изъ этажей будетъ продолжаться

$$\frac{M}{n} \text{ лѣтъ.}$$

Предположимъ, что по прошествіи $\frac{M}{n}$ лѣтъ отъ начала работъ, т. е. по окончаніи разработки перваго этажа (по S/2 саж. въ обѣ стороны отъ шахты), мы не переходимъ къ разработкѣ второго этажа, а продолжаемъ работать дальше по простиранію еще по S/2 саж. въ обѣ стороны отъ шахты.

*) Выб. сист. разраб. 1903 г., стр. 6.

Очевидно, что при постоянной средней скорости подвиганія забоя, на это уйдетъ снова $\frac{M}{n}$ лѣтъ.

Въ теченіе этого второго періода времени придется содержать S саж. этажнаго штрека, пройденныхъ въ первый періодъ времени, израсходовавъ на это:

$$r_s \cdot S. \frac{M}{n} \text{ рублей.}$$

Если то же самое повторится во всѣхъ „n“ этажахъ, или другими словами, если мы черезъ ту же шахту выработаемъ еще одно поле такой же длины (S саж.), какъ и первое, то расходъ на содержаніе этажныхъ штековъ перваго поля въ продолженіе разработки второго поля выразится суммой:

$$r_s S \cdot \frac{M}{n} \cdot n = r_s \cdot S \cdot M \text{ рублей.}$$

Проведеніе отдѣльной шахты стоимостью „k H“ для второго поля имѣетъ смыслъ, если:

$$k H \leq r_s \cdot S. M$$

откуда получаемъ для наивыгоднѣйшаго простиранія шахтнаго поля:

$$S \geq \frac{k. H}{r_s. M} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

Какъ видимъ, вышеизложенный методъ, вообще, не приводитъ къ опредѣленному значенію искомаго наивыгоднѣйшаго простиранія шахтнаго поля.

Если же въ формулѣ (6) отбросить знакъ $>$, какъ это дѣлаетъ Проф. Бокій при выводѣ формулы (2), и принять:

$$S = \frac{k. H}{r_s. M} \quad \ldots\ldots\ldots (7),$$

то послѣднимъ выраженіемъ точно такъ же, какъ и формулами (2) и (3), будетъ опредѣляться лишь нѣкоторый минимальный предѣлъ для простиранія шахтнаго поля.

Преимущество же формулы (7) передъ двумя другими будетъ заключаться въ томъ, что въ ней величина „S“ не зависитъ отъ числа этажей, на которые будетъ раздѣлено шахтное поле, и вмѣстѣ съ тѣмъ, какъ упоминалось выше, при пользованіи этой формулой мы избѣгаемъ въ дальнѣйшемъ уравненій высшихъ степеней.

Въ самомъ дѣлѣ, величинами „k“, „r_s“ и „M“ мы, согласно вышесказанному, задаемся. Остается подставить въ формулу (7) вмѣсто „H“ въ явномъ видѣ его значеніе изъ уравненія (4). Соотвѣтственныя выраженія для „H“, выведенныя Проф. Бокіемъ въ упоминавшейся статьѣ для всевозможныхъ случаевъ разработки, собраны въ нижеслѣдующей таблицѣ:

ТАВЛИЦА I.

	ГЛУБИНА ШАХТЫ.	
	Вскрытіе шахтой съ квершлагомъ.	Вскрытіе шахтой съ гезенкомъ.
Разработка свиты съ дневной поверхности. (Выходы пластовъ находятся въ предѣлахъ даннаго участка).	$H_I = \frac{T}{S. \Sigma p} \cdot Sin\alpha$	$H_{II} = \frac{T}{S. \Sigma p} Sin\alpha + \frac{A}{\Sigma p. Cos\alpha}$
Разработка свиты, уже эксплуатировавшейся, или залегающей въ предѣлахъ даннаго участка на нѣкоторой глубинѣ отъ дневной поверхности.	$H_I' = \frac{1}{\Sigma p}\left[\frac{T}{S} Sin\alpha + \Sigma(H_v. p)\right]$	$H_{II}' = H_I' + \frac{A}{\Sigma p. Cos\alpha}$

Во всѣхъ 4-хъ вышеприведенныхъ формулахъ по-прежнему:

T (пуд.)—запасъ полезн. ископ., соотвѣтствующій всему шахтн. полю,

S (саж.)—длина шахтн. поля по простиранію,

α — уголъ паденія свиты.

Значенія же величинъ: „Σp“, „A“ и „$\Sigma(H_v.p)$“ уясняются при разсмотрѣніи фиг. 1.

Обозначая:

1) производительности отдѣльныхъ пластовъ свиты черезъ:

$$p_1,\ p_2,\ p_3 \ldots\ldots\ldots$$

2) разстоянія между пластами черезъ:

$$a_1,\ a_2,\ a_3 \ldots\ldots\ldots$$

и 3) для случая свиты разрабатывавшейся раньше—глубины, до которыхъ уже выработаны отдѣльные пласты, черезъ:

$$H'_v,\ H''_v,\ H'''_v \ldots\ldots$$

то:

$$p_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ldots = \Sigma p$$

$$p_1 . a_1 + p_2 . a_2 + p_3 . a_3 + \ldots\ldots = A$$

$$H'_v . p_1 + H''_v . p_2 + H'''_v p + \ldots = \Sigma(H_v . p)$$

Очевидно, что для заданной свиты — „Σp“, „A“ и „$\Sigma\ (H_v\ p)$“ являются величинами извѣстными, такъ что во всѣхъ четырехъ вышеприведенныхъ выраженіяхъ для глубины шахты (H) имѣется только одно неизвѣстное „S“.

Подставляя въ уравненіе (7) *любое* изъ значеній для „H“ соотвѣтственно заданной свитѣ и выбранному способу вскрытія, мы получимъ въ каждомъ случаѣ, какъ въ этомъ легко убѣдиться, обыкновенное квадратное уравненіе относительно „S“, рѣшеніе котораго затрудненій не представляетъ.

Для наглядности приведемъ численный примѣръ, который, между прочимъ, окажетъ намъ большую услугу въ дальнѣйшемъ изслѣдованіи затронутаго вопроса.

Возьмемъ болѣе общій случай—уже разрабатывавшейся свиты, и допустимъ, что по какимъ-либо соображеніямъ намъ выгоднѣе вскрыть эту свиту шахтой съ квершлагомъ.

Подставляя въ формулу (7) соотвѣтствующее выраженіе для „H“ изъ предыдущей таблицы, найдемъ:

$$S = \frac{k.\frac{1}{\Sigma p}\left[\frac{T}{S}\cdot Sin\alpha + \Sigma\left(H_v . p\right)\right]}{r_s\ .\ M}$$

Произведя надлежащія дѣйствія, получимъ:

$$M.\ r_s\ .\ \Sigma p\ .\ S^2 - k\ .\ \Sigma\ (H_v\ .\ p).\ S - T.\ k.\ Sin\alpha = 0.$$

откуда:

$$S = \frac{k\Sigma(H_v\ .p) \pm \sqrt{[k.\Sigma(H_v.p)]^2 + 4.M.r_s.\Sigma p.T.k.Sin\alpha}}{2\ M.\ r_s.\ \Sigma p} \ldots (8)$$

Выраженіе (8) показываетъ, что:

1) значенія S дѣйствительны, ибо подкоренная величина > 0,

2) изъ двухъ рѣшеній одно будетъ отрицательнымъ, но такъ какъ S по существу не можетъ быть < 0, то отрицательное рѣшеніе можемъ отбросить.

Такимъ образомъ, принимаемъ:

$$S = \frac{k\ \Sigma\ (H_v\ .p) + \sqrt{[k.\Sigma(H_v.p)]^2 + 4.M.r_s.\Sigma p.T.k.Sin\alpha}}{2.\ M.\ r_s.\ \Sigma p} \ldots (9)$$

Для численнаго примѣра возьмемъ свиту со слѣдующими данными:

$\alpha = 12°$ $\qquad$ $\Sigma\ (H_v.\ p) = 120.000$

$\Sigma\ p = 600$ $\qquad$ $A = 120.000$

Требуется спроэктировать рудникъ на

$$M = 30\ лѣтъ,$$

съ годовой добычей:

$$T_a = 16.000.000\ пуд.,$$

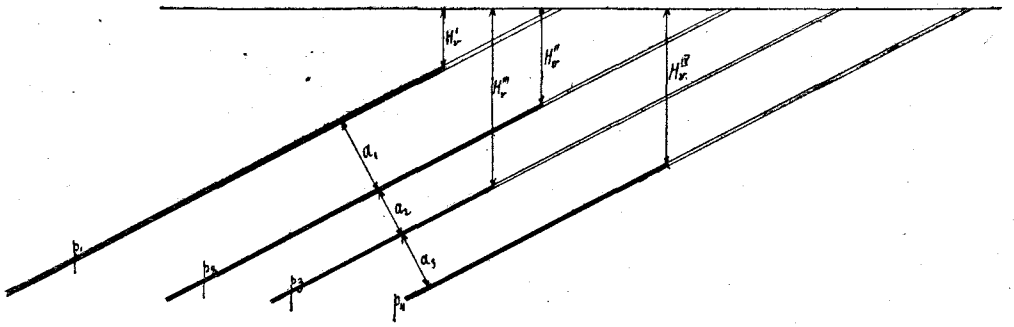
т. е. съ общимъ запасомъ:

$$T = T_a \cdot M = 480.000.000\ пуд.$$

Среднюю годовую стоимость содержанія одной пог. саж. штрека примемъ:

$$r_s = 12\ рублей\ *)$$

*) Б. И. Бокій «Выб. сист. раб.» 1904, стр. 3.



Фиг. 1.

и стоимость проведенія одной пог. саж. шахты —

$$k = 1000 \text{ рублей.}$$

Подставляя приведенныя данныя въ формулу (9), находимъ:

$$S = 1012 \text{ саж.} \quad \ldots\ldots (10).$$

Продѣлавъ то же самое для случая вскрытія той же свиты при помощи шахты съ гезенкомъ, получаемъ:

$$S = 1444 \text{ саж.} \quad \ldots\ldots (11).$$

Вслучаѣ, если та же свита разрабатывается съ поверхности (выходы пластовъ находятся въ предѣлахъ земельнаго участка рудника) — надо будетъ для полученія соотвѣтствующаго значенія „S“ принять:

$$\Sigma\,(H_v \cdot p) = 0.$$

и тогда:

1) при вскрытіи свиты шахтой съ квершлагомъ:

$$S = 681 \text{ саж.} \quad \ldots\ldots (12).$$

2) при вскрытіи свиты шахтой съ гезенкомъ:

$$S = 1020 \text{ саж.} \quad \ldots\ldots (13).$$

Такимъ образомъ, пользуясь исходной формулой (7), выведенной нами по методу, предложеннному Проф. Бокіемъ, мы получили въ результатѣ для „S“ четыре значенія (10), (11), (12) и (13), отличающіяся одно отъ другого, въ зависимости отъ того, имѣемъ ли мы дѣло со свитой уже разрабатывавшейся или еще не тронутой, а также и отъ того, какимъ образомъ производится вскрытіе свиты.

Въ дальнѣйшемъ мы убѣдимся, что во всѣхъ упомянутыхъ случаяхъ значенія для „S“ должны быть одинаковыми.

Мы постараемся также выяснить причину полученнаго различія результатовъ, для чего намъ прійдется измѣнить самый методъ изслѣдованія вопроса.

Допустимъ, что заданному запасу „T“, который долженъ быть извлеченъ при помощи проэктируемой шахты, соотвѣтствуетъ нѣкоторое шахтное поле длиною по простиранію - „a“ и по паденію—„b“, т. е.

$$T = \Sigma\, p.\, a.\, b$$

гдѣ „Σp“—производительность свиты.

Если бы мы взяли шахтное поле съ простираніемъ:

$$a_1 < a$$

то, очевидно, что соотвѣтственно тому же запасу „T“, прійдется взять длину поля по паденію:

$$b_1 > b$$

т. е. въ этомъ случаѣ необходимо будетъ заложить болѣе глубокую шахту, вслѣдствіе чего расходы по проведенію шахты увеличатся. Но въ то же время, благодаря тому, что

$$a_1 < a$$

штреки будутъ короче, и расходы по ихъ содержанію уменьшатся.

Наоборотъ, при

$$a_1 > a$$

находимъ, что

$$b_1 < b$$

Въ этомъ случаѣ глубина соотвѣтствующей шахты будетъ меньше, слѣдовательно расходы по проведенію ея уменьшатся; штреки же будутъ длиннѣе и стоимость ихъ содержанія увеличится.

Очевидно, что наиболѣе выгодными будутъ такіе размѣры шахтнаго поля, при которыхъ сумма затратъ на проведеніе шахты (X) и содержаніе штековъ (Y) будетъ наименьшей.

Аналитически это условіе выразится:

$$(X + Y) \text{ долж. быть } minimum \quad \ldots (14).$$

При средней стоимости одной пог. единицы шахты „k“—на проведеніе шахты наивыгоднѣйшей глубины „H“ будетъ израсходовано:

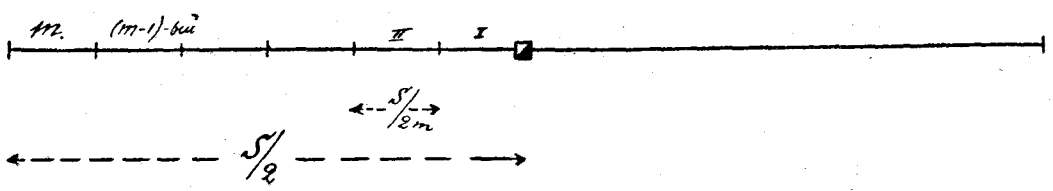
$$X = k \,.\, H \quad \ldots\ldots (15)$$

Перейдемъ къ опредѣленію стоимости содержанія штековъ (Y).

Пусть шахтное поле съ наивыгоднѣйшимъ простираніемъ „S“ (по $S/2$ съ каждой стороны шахты) разрабатывается въ теченіе „M“ лѣтъ „n“ этажами.

Каждыя $S/2$ пог. ед. этаж. штрека будутъ постепенно пройдены въ M/n лѣтъ, и по мѣрѣ удаленія штрека отъ шахты расходы на содержаніе его будутъ все возрастать.

Чтобы подсчитать эти расходы, разобьемъ $S/2$ (пог. ед.) на „m“ безконечно малыхъ участковъ (фиг. 2).



Фиг. 2.

Длина каждаго участка будетъ:

$$\frac{S}{2m}$$

1-ый участокъ придется содержать въ теченіе всего того времени, за которое будутъ пройдены остальные $(m-1)$ участк., т. е.

$$\frac{M}{n \cdot m}\ (m-1)\ \text{лѣтъ}.$$

Опредѣливъ подобнымъ же образомъ срокъ содержанія каждаго изъ остальныхъ участковъ, и обозначивъ среднюю годовую стоимость содержанія I пог. ед. штрека черезъ „r“, найдемъ, что на содержаніе каждаго изъ участковъ будетъ всего израсходовано:

I участ. . . . . $r \cdot \frac{S}{2m} \cdot \frac{M}{n \cdot m}\ (m-1)$.

II „ . . . . . $r \cdot \frac{S}{2m} \cdot \frac{M}{n \cdot m}\ (m-2)$.

. . . . . .

. . . . . .

$(m-2)$ участ. . . . . $r \cdot \frac{S}{2m} \cdot \frac{M}{n \cdot m} \cdot 2$.

$(m-1)$ „ . . . . . $r \cdot \frac{S}{2m} \cdot \frac{M}{n \cdot m} \cdot 1$.

m „ . . . . . $r \cdot \frac{S}{2m} \cdot \frac{M}{n \cdot m} \cdot 0$.

Суммируя всѣ вышеприведенные расходы, найдемъ, что за время прохожденія S/2 пог. ед. штрека — на содержаніе его будетъ израсходовано:

$$r \cdot \frac{S}{2m} \cdot \frac{M}{n \cdot m}\left[(m-1)+(m-2)+\ \ldots\ +2+1\right]=$$

$$= r \cdot \frac{S}{2m} \cdot \frac{M}{n \cdot m} \cdot \frac{m(m-1)}{2} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{r \cdot S \cdot M}{2} \cdot \frac{m-1}{m}.$$

На содержаніе же всего этажнаго штрека длиною „S“ (по S/2 съ каждой стороны шахты) будетъ затрачено:

$$\frac{1}{n} \cdot \frac{r \cdot S \cdot M}{2} \cdot \frac{m-1}{m}.$$

А такъ какъ по условію во всемъ шахтномъ полѣ будетъ „n“ этажныхъ штековъ, то общій расходъ по ихъ содержанію для всего шахтнаго поля (Y) выразится:

$$Y = \frac{r \cdot S \cdot M}{2} \cdot \frac{m-1}{m} \cdot \ldots\ldots (16).$$

Представивъ выраженіе (16) въ видѣ:

$$Y = \frac{r \cdot S \cdot M}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right)$$

и принявъ во вниманіе, что согласно условію, $\frac{1}{m}$ въ предѣлѣ (при $m = \infty$) обращается въ нуль, находимъ:

$$Y = \frac{r \cdot S \cdot M}{2} \cdot \ldots\ldots (17).$$

Изъ (14), (15) и (17) имѣемъ:

$$\left(\frac{r \cdot M}{2} \cdot S + k\,H\right) \text{долж. быть minimum.} \ldots\ldots (18).$$

Подставивъ въ (18) вмѣсто „H“ его значеніе:

$$H = f(S)$$

мы обратимъ выраженіе (18) въ явную функцію отъ „S“, и то значеніе независимаго перемѣннаго „S“, при которомъ эта функція будетъ имѣть minimum, представитъ собою искомое наивыгоднѣйшее простираніе шахтнаго поля.

Приложимъ вышесказанное къ различнымъ случаямъ разработки свиты, и для удобства разобьемъ ихъ на двѣ группы.

I. Случай разработки съ поверхности свиты, вскрытой при помощи шахты съ квершлагомъ.

Какъ видно изъ вышеприведенной таблицы (см. стр. 13), глубина шахты въ этомъ случаѣ будетъ:

$$H = H_I = \frac{T \cdot \operatorname{Sin}\alpha}{S \cdot \Sigma p} \cdot \ldots\ldots (19).$$

Выраженіе (18) обращается въ:

$$F(S) = \frac{Mr}{2} \cdot S + k \cdot \frac{T \cdot \operatorname{Sin}\alpha}{S \cdot \Sigma p} \cdot \ldots\ldots (20).$$

Опредѣляемъ первую производную этой функціи:

$$F'(S) = \frac{Mr}{2} - \frac{k \cdot T \cdot \operatorname{Sin}\alpha}{S^2 \cdot \Sigma p}$$

Какъ видно изъ послѣдняго равенства, вторая производная:

$$F''(S) > 0$$

а потому F(S) будетъ дѣйствительно имѣть minimum. Этотъ minimum наступитъ при томъ значеніи „S“, которое опредѣлится изъ:

$$F'(S) = \frac{Mr}{2} - \frac{k \cdot T \cdot \operatorname{Sin}\alpha}{S^2 \cdot \Sigma p} = 0$$

Откуда имѣемъ:

$$\frac{Mr}{2} = \frac{k\,T \operatorname{Sin}\alpha}{S^2 \cdot \Sigma p} \cdot \ldots\ldots (21)$$

или:

$$S = \sqrt{\frac{2k \cdot \operatorname{Sin}\alpha}{\Sigma p \cdot r} \cdot \frac{T}{M}}$$

Обозначая частное „T/M“, представляющее собою величину годовой добычи, черезъ „T_a“:

$$\frac{T}{M} = T_a$$

получаемъ для наивыгоднѣйшаго простиранія шахтнаго поля:

$$S = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot \mathrm{Sin}\alpha}{\Sigma p \cdot r}} \cdot T_a \quad . \quad . \quad . \quad (22).$$

Слѣдствіе 1-е.

Равенство (21) можно представить въ такомъ видѣ:

$$\frac{MrS}{2} = k \cdot \frac{T \cdot \mathrm{Sin}\alpha}{S \cdot \Sigma p}$$

или, согласно (19) имѣемъ:

$$\frac{MrS}{2} = k \cdot H_I$$

Принимая во вниманіе (15) и (17), заключаемъ, что наивыгоднѣйшіе размѣры шахтнаго поля для свиты, разрабатываемой съ поверхности и вскрываемой посредствомъ шахты съ квершлагомъ, опредѣляются равенствомъ расходовъ по проведенію шахты и—содержанію этажныхъ штековъ поля.

Слѣдствіе 2-ое.

Пусть шахтное поле разсчитывается на годовую добычу „T_{a_1}“ въ теченіе „M_1“ лѣтъ.

Запасъ, соотвѣтствующій такому шахтному полю, будетъ:

$$T_1 = M_1 \cdot T_{a_1}$$

Наивыгоднѣйшее простираніе шахтнаго поля—по формулѣ (22):

$$S_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot \mathrm{Sin}\alpha}{\Sigma p \cdot r}} \cdot T_{a_1}$$

Стоимость содержанія штековъ или, ввиду слѣдствія 1-аго, равная ей стоимость проведенія шахты, выразится по формулѣ (17) величиной:

$$Y_1 = \frac{M_1 \cdot S_1 \cdot r}{2}$$

Погашеніе каждаго изъ этихъ расходовъ на пудъ полезнаго ископаемаго:

$$\varphi_1 = \frac{Y_1}{T_1} = \frac{M_1 \cdot S_1 \cdot r}{2 \cdot T_1} = \frac{M_1 \cdot r}{2 \cdot T_1} \sqrt{\frac{2k \cdot \mathrm{Sin}\alpha}{\Sigma p \cdot r}} \cdot T_{a_1} \ldots (23)$$

Подобнымъ же образомъ находимъ, что при годовой добычѣ „T_{a_2}“ въ теченіе „M_2“ лѣтъ, т. е. при запасѣ:

$$T_2 = M_2 \cdot T_{a_2}$$

величина погашенія на пудъ ископаемаго выразится:

$$\varphi_2 = \frac{M_2 \cdot r}{2 \cdot T_2} \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot \mathrm{Sin}\alpha}{\Sigma p \cdot r}} \cdot T_{a_2} \quad . \quad . \quad . \quad (24).$$

Раздѣляя (23) на (24), получаемъ:

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{\sqrt{T_{a_2}}}{\sqrt{T_{a_1}}}$$

Отсюда заключаемъ, что при наивыгоднѣйшихъ размѣрахъ шахтнаго поля, независимо отъ срока его разработки, погашеніе расходовъ, какъ по проведенію шахты, такъ и по содержанію штековъ, обратно пропорціонально корню квадратному изъ годовой добычи.

II. Прочіе случаи разработки свиты.

a) Разработка съ поверхности свиты, вскрываемой посредствомъ шахты съ гезенкомъ.

b) Разработка свиты, уже эксплуатировавшейся, или залегающей въ предѣлахъ даннаго участка на нѣкоторой глубинѣ, причемъ вскрытіе свиты производится шахтой съ квершлагомъ.

c) Разрабатывается та же свита, что и въ случаѣ (*b*), но вскрытіе производится шахтой съ гезенкомъ.

Различныя выраженія для глубины шахты, соотвѣтствующія тремъ указаннымъ случаямъ разработки, могутъ быть представлены (см. стр. 13) въ такомъ видѣ:

$$\left.\begin{aligned} a) \quad . \quad . \quad . \quad H_{II} &= H_I + \frac{A}{\Sigma p \cdot \mathrm{Cos}\,\alpha} \\ b) \quad . \quad . \quad . \quad H_{I'} &= H_I + \frac{\Sigma(H_v \cdot p)}{\Sigma p} \\ c) \quad . \quad . \quad . \quad H_{II'} &= H_I + \left(\frac{\Sigma(H_v \cdot p)}{\Sigma p} + \frac{A}{\Sigma p \cdot \mathrm{Cos}\,\alpha}\right) \end{aligned}\right\} \quad (25)$$

Какъ мы уже выяснили, „Σp“, „A“ и „$\Sigma(H_v \cdot p)$, а также и уголъ паденія—„α“ являются для каждой заданной свиты величинами извѣстными, такъ что всѣ выраженія (25) можно замѣнить одной общей формулой:

$$H = H_I + C \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

гдѣ „C“ есть нѣкоторая постоянная величина (отъ

S не зависящая), и значеніе которой, соотвѣтственно тому или иному случаю разработки, опредѣляется равенствами:

$$\left.\begin{aligned} C &= \frac{A}{\Sigma p \,.\, \mathrm{Cos}\,\alpha} \;\ldots\ldots\ldots \text{для случая „}a\text{“} \\ C &= \frac{\Sigma (H_v \cdot p)}{\Sigma p} \;\ldots\ldots\ldots \text{„ „ „}b\text{“} \\ C &= \frac{\Sigma (H_v \cdot p)}{\Sigma p} + \frac{A}{\Sigma p \,.\, \mathrm{Cos}\,\alpha} \;\ldots \text{„ „ „}c\text{“} \end{aligned}\right\} \quad (26a)$$

Если, поступая по-прежнему, подставимъ въ выраженіе (18) вмѣсто „H“, его значеніе (26), мы получимъ въ правой части равенства (20) нѣкоторый добавочный постоянный членъ (не зависящій отъ S), и для всѣхъ приведенныхъ трехъ случаевъ разработки равенство (20) приметъ видъ:

$$\Phi\,(S) = F\,(S) + c \;\ldots\; (20')$$

гдѣ

$$c = \mathrm{Const.}$$

Очевидно, что Ф(S) будетъ имѣть minimum при томъ же значеніи „S“, при которомъ наступаетъ minimum для F(S) и, такимъ образомъ, мы получимъ въ результатѣ для наивыгоднѣйшей длины шахтнаго поля прежнюю формулу (22):

$$S = \sqrt{\frac{2 \,.\, k \,.\, \mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p \,.\, r} \,.\, T_a} \;\ldots\ldots\; (22)$$

Слѣдствіе 3-е.

Наивыгоднѣйшее простираніе шахтнаго поля, соотвѣтствующее опредѣленной годовой добычѣ, будетъ одинаково при всякой глубинѣ разработки данной свиты и любомъ способѣ вскрытія ея.

Слѣдствіе 4-ое *).

Принимая во вниманіе слѣдствія 3-ье и 2-ое, заключаемъ, что наивыгоднѣйшіе размѣры шахтнаго поля опредѣляются въ любомъ случаѣ разработки — равенствомъ расходовъ по содержанію этажныхъ штековъ поля и стоимости проведенія шахты, которую слѣдовало бы заложить, если бы данная свита разрабатывалась съ поверхности, будучи при этомъ вскрыта шахтой съ квершлагомъ.

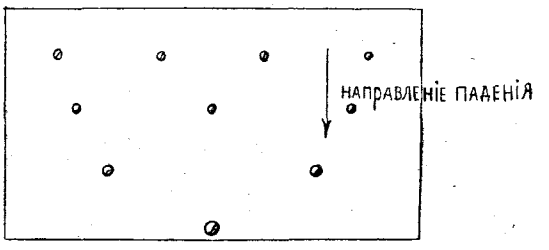
*) Это слѣдствіе, имѣющее, быть можетъ, только нѣкоторый теоретическій интересъ, окажется полезнымъ въ дальнѣйшемъ изложеніи.

Слѣдствіе 5-е.

Во многихъ случаяхъ—разработка болѣе глубокихъ горизонтовъ свиты непосредственно связана съ заложеніемъ по паденію пластовъ ряда шахтъ, глубина которыхъ будетъ все возрастать.

При такихъ условіяхъ стоимость проведенія шахты можетъ достигнуть весьма значительной суммы и, дабы уменьшить погашеніе этой суммы на пудъ полезнаго ископаемаго, нужно, согласно слѣдствію 2-му, по мѣрѣ углубленія разработки, увеличивать годовую производительность шахтъ (T_a).

Формула (22) показываетъ, что при этомъ будетъ постепенно возрастать и наивыгоднѣйшее простираніе шахтныхъ полей, благодаря чему число шахтъ, расположенныхъ по одной линіи простиранія, будетъ уменьшаться по паденію свиты, такъ что общее расположеніе шахтъ въ предѣлахъ даннаго участка схематически представится, какъ изображено на фиг. 3.



Примѣнимъ теперь формулу (22) къ разсмотрѣнному выше численному примѣру.

Имѣемъ:

$$S = \sqrt{\frac{2 \,.\, k \,.\, \mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p \,.\, r} \,.\, T_a} =$$

$$= \sqrt{\frac{2.1000 \,.\, \mathrm{Sin}\,12^0}{600.12} \,.\, 16.10^6} = 960 \text{ саж.} \;\ldots\ldots\; (27)$$

Согласно вышеизложенному, найденный результатъ

$$S = 960 \text{ саж.}$$

представляетъ собою наивыгоднѣйшее простираніе шахтнаго поля при всякомъ случаѣ разработки разсматриваемой свиты.

Между тѣмъ, пользуясь раньше формулой (7), мы получили для „S“ четыре различныхъ результата:

$$S = 681 \text{ саж.} \quad \ldots\ldots (12)$$
$$S = 1020 \text{ „} \quad \ldots\ldots (13)$$
$$S = 1012 \text{ „} \quad \ldots\ldots (10)$$
$$S = 1444 \text{ „} \quad \ldots\ldots (11)$$

и, кромѣ того, напомнимъ, что всѣ четыре результата представляли собою (въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ разработки и вскрытія свиты) лишь нѣкоторый минимальный предѣлъ для длины шахтнаго поля.

Для наивыгоднѣйшей же длины его, соотвѣтственно формулѣ:

$$S > \frac{kH}{r_s \cdot M} \quad \ldots\ldots (6)$$

мы должны были бы получить значеніе большее любого изъ четырехъ предыдущихъ.

Сравнивая (27) съ (10), (11) и (13), мы обнаруживаемъ противорѣчіе послѣднему условію.

Это противорѣчіе, а также и самый фактъ полученія четырехъ различныхъ предѣловъ—легко объяснить, если принять во вниманіе, что служившій для вывода формулъ (6) и (7) методъ Проф. Бокія не представляетъ возможности учесть полученное нами выше слѣдствіе 4-ое; въ силу котораго—для всѣхъ случаевъ разработки данной свиты—въ формулахъ (6) и (7) нужно подразумѣвать подъ „H“ только глубину той шахты, какую слѣдовало бы заложить при разработкѣ той же свиты съ поверхности при помощи шахты съ квершлагомъ.

Замѣтимъ, кстати, что необходимость послѣдняго условія можно доказать, исходя изъ того же предположенія, которое дѣлалъ проф. Бокій при опредѣленіи наивыгоднѣйшаго простиранія шахтнаго поля.

Предположеніе это, какъ мы уже указывали при выводѣ формулъ (6) и (7), заключается въ томъ, что черезъ ту же шахту, которою обслуживается въ теченіе „M“ лѣтъ шахтное поле съ наивыгоднѣйшимъ простираніемъ „S“, выработано въ теченіе слѣдующихъ „M“ лѣтъ еще одно поле такой же длины по простиранію—„S“.

Допустимъ, что вышеизложенный способъ веденія работъ примѣненъ къ свитѣ, разрабатываемой съ поверхности при помощи шахты съ квершлагомъ.

Обозначимъ глубину такой шахты черезъ „H“. На проведеніе этой шахты будетъ затрачено

„k H“ рублей.

На содержаніе штрековъ шахтнаго поля длиною по простиранію „2 S“ саж. при разработкѣ его въ теченіе „2 M“ лѣтъ будетъ израсходовано: *)

$$\frac{2M \cdot 2S \cdot r}{2} = 2 \cdot M \cdot S \cdot r \text{ рублей.}$$

Общая сумма затратъ по этимъ двумъ статьямъ выразится:

$$\Sigma_1 = kH + 2M \cdot S \cdot r$$

Найдемъ теперь, какую сумму надо было бы израсходовать по этимъ же двумъ статьямъ, если разработать наивыгоднѣйшимъ образомъ тотъ же запасъ позезнаго ископаемаго въ теченіе тѣхъ же „2 M“ лѣтъ и по-прежнему черезъ одну шахту.

Такъ какъ въ этомъ случаѣ годовая добыча остается прежней, то не измѣнится и наивыгоднѣйшее простираніе шахтнаго поля. Такимъ образомъ, для наивыгоднѣйшей разработки нужно взять длину по простиранію шахтнаго поля—„S“ саж., т. е. вдвое меньше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ. Соотвѣтственно этому для извлеченія прежняго запаса прійдется увеличить вдвое глубину шахты **), такъ что проведеніе шахты обойдется въ „2к H“ рублей.

Содержаніе же штрековъ обойдется въ:

$$\frac{2M \cdot S \cdot r}{2} = M \cdot S \cdot r \text{ рублей.}$$

Сумма расходовъ по обѣимъ статьямъ будетъ:

$$\Sigma_2 = 2kH + M \cdot S \cdot r$$

Такъ какъ второй способъ веденія работъ является наивыгоднѣйшимъ, то, очевидно, что

$$\Sigma_2 < \Sigma_1$$

или:

$$2kH + M \cdot S \cdot r < kH + 2M \cdot S \cdot r$$

откуда находимъ:

$$S > \frac{k \cdot H}{M \cdot r}$$

Мы пришли, такимъ образомъ, къ выраженію вполнѣ тождественному съ формулой (6). Въ силу примѣчанія 1-го и слѣдствія 3-го мы можемъ считать доказаннымъ, что въ формулѣ (6) нужно подразумѣ-

---

*) См. формулу (17).

**) *Примѣчаніе 1-ое.* Подобное заключеніе объ обратной пропорціональности между простираніемъ шахтнаго поля и глубиной соотвѣтствующей шахты будетъ вѣрно только для взятаго нами случая разработки свиты съ поверхности посредствомъ шахты съ квершлагомъ. Для всякаго иного случая разработки эта зависимость не имѣетъ мѣста. Понятно, что и послѣдующій окончательный выводъ, основанный на этой зависимости будетъ тоже вѣренъ только для взятаго случая.

вать подъ „H“ при всякомъ случаѣ разработки свиты лишь глубину шахты, соотвѣтствующей разработкѣ свиты съ поверхности при вскрытіи — шахтой съ квершлагомъ, т. е.

$$H = H_1 = \frac{T.\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p\,.\,S} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (19)$$

Формула (7), служившая для опредѣленія упомянутаго минимальнаго предѣла длины шахтнаго поля по простиранію *), и полученная обращеніемъ неравенства (6) въ равенство:

$$S_o = \frac{k\,H}{M\,.\,r}$$

представится теперь въ видѣ:

$$S_o = \frac{k}{M\,.\,r} \cdot \frac{T\,.\,\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p\,.\,S_0}$$

или:

$$S_o = \sqrt{\frac{k\,.\,\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p\,.\,r} \cdot \frac{T}{M}} = \sqrt{\frac{k\,.\,\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p\,.\,r} \cdot T_a} \quad . \quad . \quad (7')$$

Сравнивая (7′) съ выраженіемъ для наивыгоднѣйшаго простиранія шахтнаго поля:

$$S = \sqrt{\frac{2k\,.\,\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p\,.\,r} \cdot T_a} \quad . \quad . \quad (22)$$

находимъ:

$$\frac{S}{S_o} = \sqrt{2}$$

Такъ какъ „S“ и “S_o„ по существу своему величины положительныя, то всегда будемъ имѣть:

$$S > S_o$$

и, такимъ образомъ, вышеупомянутое противорѣчіе отпадаетъ.

Въ заключеніе изслѣдуемъ тотъ же вопросъ — объ опредѣленіи наивыгоднѣйшихъ размѣровъ шахтнаго поля—графическимъ путемъ и для наглядности примѣнимъ этотъ методъ къ разсмотрѣнному выше численному примѣру.

Возьмемъ прямоугольную систему координатъ (фиг. 4) **), и по оси абсциссъ будемъ откладывать различныя длины (въ саж.) по простиранію шахтнаго поля, а по оси ординатъ—соотвѣтствующіе расходы (въ рубл.), какъ по содержанію штрековъ, такъ и по проведенію шахты.

Согласно формулѣ (17) любому простиранію шахтнаго поля—„x“ будетъ соотвѣтствовать расходъ по содержанію этажныхъ штрековъ:

$$y = tx \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

гдѣ:

$$t = \frac{rM}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (29)$$

Выраженіе (28) представляетъ собою уравненіе прямой, проходящей черезъ начало координатъ и образующей съ осью „x“-овъ уголъ „β“, опредѣляемый условіемъ:

$$tg\,\beta = t = \frac{rM}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

Замѣтимъ, что равенство (30) будетъ вѣрно только при томъ условіи, если для саженей — по оси абсциссъ, а также для рублей—по оси ординатъ взятъ одинъ и тотъ же линейный масштабъ.

Мы же для удобства взяли (см. фиг. 4) масштабъ для рублей значительно меньшій, и въ этомъ случаѣ „β“ будетъ опредѣляться условіемъ:

$$tg\,\beta = \frac{t}{d} = \frac{Mr}{2d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

гдѣ „d“ есть отношеніе масштаба по оси абсциссъ къ масштабу по оси ординатъ.

Построеніе прямой (28) будетъ практически и проще и точнѣе, если мы, вмѣсто пользованія условіемъ (31), вычислимъ для какого-нибудь произвольнаго значенія:

$$x = a$$

соотвѣтствующее ему:

$$y = ta$$

и точку съ координатами „a“ и „ta“, отложенными въ принятыхъ масштабахъ, соединимъ съ началомъ координатъ.

Подобнымъ образомъ построена на фиг. 4 прямая „OA“, выражающая измѣненіе расходовъ по содержанію штрековъ въ зависимости отъ измѣненія простиранія шахтнаго поля. При этомъ для опредѣленія коэффиціента

$$t = \frac{Mr}{2}$$

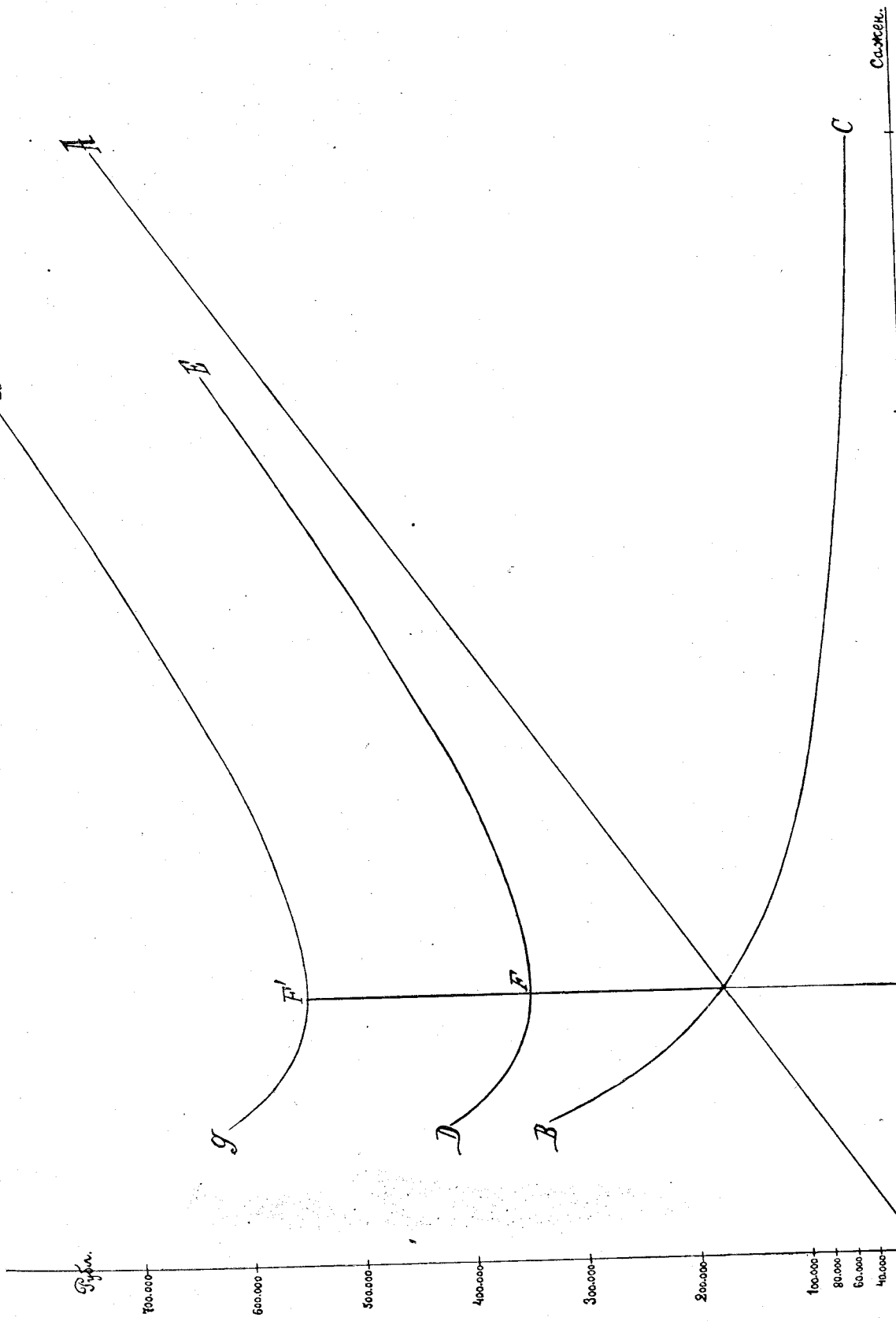
нами были взяты числовыя величины, заданныя въ вышеприведенномъ примѣрѣ (см. стр. 14).

Теперь построимъ кривую, выражающую измѣненіе стоимости проведенія шахты, причемъ сначала предположимъ, что свита разрабатывается съ поверхности и вскрывается шахтой съ квершлагомъ.

Глубина шахты въ этомъ случаѣ:

$$H_1 = \frac{T.\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p} \cdot \frac{1}{S}$$

*) Обозначимъ этотъ предѣлъ черезъ „S_0“.
**) См. стр. 21.


Руб.
Сажен.
A
B
C
D
E
F
F'
G
H
K
700.000
600.000
500.000
400.000
300.000
200.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
200
400
600
800
1000
3000
4000

Фигура 4.

Стоимость ея проведенія:

$$k\,H_I = \frac{k\,T\,\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p}\cdot\frac{1}{S} \quad \ldots\ldots (15a)$$

или, согласно принятымъ координатамъ:

$$k\,H_I = y = \frac{b^2}{x} \quad \ldots\ldots (32)$$

гдѣ:

$$b^2 = \frac{k\,T\,\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p}$$

Выраженіе (32) представляетъ собою уравненіе равнобокой гиперболы, для которой прямоугольныя оси координатъ являются ассимптотами.

По тѣмъ же соображеніямъ, которыя были приведены при построеніи прямой „OA“, мы и въ данномъ случаѣ предпочли построить соотвѣтствующую кривую „BC“ по нѣсколькимъ точкамъ, опредѣливъ при этомъ значеніе:

$$b^2 = \frac{k\ T\,\mathrm{Sin}\,\alpha}{\Sigma p}$$

по числовымъ даннымъ того же примѣра (стр. 14).

Суммируя для различныхъ точекъ оси „x“-овъ соотвѣтственныя ординаты прямой „OA“ и гиперболы „BC“, получимъ ординаты кривой „DE“, выражающей измѣненіе суммы расходовъ по проведенію шахты и седержанію штековъ въ зависимости отъ простиранія шахтнаго поля.

Какъ видимъ, кривая „DE“ имѣетъ minimum въ точкѣ „F“, которой соотвѣтствуетъ наивыгоднѣйшее простираніе поля:

$$x = \overline{OH}$$

или въ принятомъ для оси „x“-овъ масштабѣ:

$$x = \overline{OH} = 960 \text{ саж.}$$

Изъ фиг. 4 убѣждаемся также, что ордината EH, соотвѣтствующая minimum'у кривой „DE“, проходитъ черезъ точку пересѣченія прямой „OA“ и гиперболы „BC“, какъ и слѣдовало ожидать на основаніи слѣдствія 1-аго.

Переходя теперь къ тремъ остальнымъ случаямъ разработки такого же шахтнаго поля, замѣтимъ, что измѣненіе стоимости содержанія штековъ попрежнему будетъ выражаться прямой „OA“.

Измѣненіе же стоимости шахты найдемъ, исходя изъ того соображенія, что во всѣхъ этихъ случаяхъ глубина шахты выражается общей формулой (26):

$$H = H_I + C \quad \ldots\ldots (26)$$

такъ что на проведеніе шахты будетъ израсходовано:

$$k\,H_I + k\,C \quad \ldots\ldots (15b)$$

Сравнивая (15a) и (15b), мы можемъ аналогично (32) принять для всѣхъ этихъ случаевъ разработки:

$$y = \frac{b^2}{x} + c \quad \ldots\ldots (32')$$

гдѣ

$$c = k\,C$$

и „C“ въ свою очередь опредѣляется изъ (26a).

Какъ видимъ, ординаты точекъ кривой (32') отличаются отъ ординатъ гиперболы „BC“ на постоянную величину.

Понятно, что и ординаты суммарной кривой:

$$y = tx + \frac{b^2}{x} + c$$

выражающей подобно „DE“ во всѣхъ остальныхъ случаяхъ разработки измѣненіе суммы расходовъ по проведенію шахты и содержанію штековъ въ зависимости отъ простиранія шахтнаго поля, будутъ отличаться отъ ординатъ кривой „DE“ на ту же постоянную величину „c“.

Согласно съ этимъ построена на фиг. 4 кривая „GK“ въ предположеніи, что свита уже эксплуатировалась $[\Sigma(Hv \cdot p) = 120.000]$ и разработка ея проектируется при помощи шахты съ квершлагомъ.

Какъ видимъ, эта кривая имѣетъ minimum при томъ же значеніи

$$x = \overline{OH} = 960 \text{ саж.}$$

Ясно, что тотъ же результатъ получится и для всякаго другого случая разработки такого же шахтнаго поля и, такимъ образомъ, выведенное выше слѣдствіе 3-ье вполнѣ подтверждается.