ГОРНЫЙ ЖУРНАЛЪ

ЧАСТЬ ОФФИЦІАЛЬНАЯ

Май. № 5. 1903 г.

УЗАКОНЕНІЯ И РАСПОРЯЖЕНІЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА.

Объ измѣненіи устава Южно-русскаго солепромышленнаго Общества [1]).

Вслѣдствіе ходатайства «Южно-русскаго солепромышленнаго Общества» [2]), Министерствомъ Финансовъ, по соглашенію съ Министерствомъ Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ, разрѣшено §§ 20, 26 и 51 означеннаго устава изложить слѣдующимъ образомъ:

§ 20. «Въ директоры и кандидаты избираются лица, имѣющія на свое имя не менѣе 40 акцій первоначальнаго или 54 акціи второго выпусковъ, которыя и хранятся . . .» и т. д. безъ измѣненія.

§ 26. «Для ближайшаго завѣдыванія дѣлами Общества, правленіе, съ утвержденія общаго собранія акціонеровъ, можетъ избрать изъ среды своей, или же изъ сторонних лицъ, особаго директора-распорядителя. Директоръ-распорядитель, если онъ изъ членовъ правленія, долженъ представить, сверхъ опредѣленныхъ въ § 20 сорока акцій первоначальнаго или 54 акцій второго выпусковъ, которыя и хранятся . . .» и т. д. безъ измѣненія.

NB. Примѣчаніе къ сему § остается въ силѣ.

§ 51. Каждый акціонеръ имѣетъ право присутствовать въ общемъ собраніи и участвовать въ обсужденіи предлагаемыхъ собранію вопросовъ лично или чрезъ довѣренныхъ, но въ постановленіяхъ общаго собранія участвуютъ только акціонеры, пользующіеся правомъ голоса. Каждыя 15 акцій первоначальнаго или 20 акцій второго выпусковъ даютъ право на голосъ, безъ всякаго при этомъ ограниченія числа голосовъ, предоставляемаго въ общемъ собраніи одному лицу.

О семъ Министръ Финансовъ, 23 октября 1902 года, донесъ Правительствующему Сенату, для распубликованія.

О разрѣшеніи употребленія петрокластита при горныхъ работахъ. [3]).

Министръ Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ, 30 декабря 1902 г., донесъ Правительствующему Сенату, для распубликованія, что онъ, Министръ, призналъ возможнымъ разрѣшить употребленіе взрывчатаго вещества, подъ названіемъ «Петрокластитъ», при тѣхъ же горныхъ работахъ, при которыхъ допускается употребленіе пороха.

[1]) Собр. узак. и расп. прав. 15 апрѣля 1903 г., № 7, ст. 116.
[2]) Уставъ утвержденъ 31 декабря 1898 года.
[3]) Собр. узак. и расп. прав. 6 мая 1903 г., № 45, ст. 530.

ВЫСОЧАЙШІЯ НАГРАДЫ.

ГОСУДАРЬ ИМПЕРАТОРЪ, въ 1 день апрѣля сего года, ВСЕМИЛОСТИВѢЙШЕ соизволилъ пожаловать: орденъ Св. Анны 2 степени—владѣльцу Рейнскаго завода металлическихъ издѣлій въ Дюссельдорфѣ, Тайному Строительному Совѣтнику, германскому подданному Генриху *Эргардту* и орденъ Св. Анны 3 степени—гражданскому инженеру, прусскому подданному Густаву *Мюллеру*.

ГОСУДАРЬ ИМПЕРАТОРЪ, по всеподданнѣйшему докладу Министра Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ, въ 28 день апрѣля сего года, ВСЕМИЛОСТИВѢЙШЕ соизволилъ пожаловать кавалерами орденовъ: Св. Анны 3 степени — Директора-распорядителя завода Донецко-Юрьевскаго металлургическаго Общества, германскаго подданнаго Мартына *Беккера* и Св. Станислава 3 степени — Помощника Директора-распорядителя завода Донецко-Юрьевскаго металлургическаго Общества, австрійскаго подданнаго Ричарда *Гаутмана*.

ПРИКАЗЫ ПО ГОРНОМУ ВѢДОМСТВУ.

№ 5. 28 апрѣля 1903 года.

I.

ВЫСОЧАЙШИМИ приказами по гражданскому вѣдомству:

а) отъ 20 февраля 1903 г. за № 16.

Назначенъ Управляющій Лабораторіею при Главномъ Управленіи Алтайскаго округа, вѣдомства Кабинета ЕГО ИМПЕРАТОРСКАГО ВЕЛИЧЕСТВА, Горный Инженеръ, Статскій Совѣтникъ *Бобятинскій*—Помощникомъ Начальника Нерчинскаго округа того же вѣдомства.

б) отъ 1 марта 1903 г. за № 19.

Назначенъ состоящій по Главному Горному Управленію, Горный Инженеръ, Коллежскій Совѣтникъ *Жуковскій 1-й* — Инженеромъ при Отдѣлѣ по испытанію и освидѣтельствованію заказовъ Министерства Путей Сообщенія и паровыхъ котловъ на судахъ, съ 1 февраля 1903 г., съ оставленіемъ состоящимъ по Главному Горному Управленію (VII кл.).

в) отъ 22 марта 1903 г. за № 22.

Назначенъ Старшій Геологъ Геологическаго Комитета, Экстраординарный Академикъ ИМПЕРАТОРСКОЙ Академіи Наукъ, Горный Инженеръ, Дѣйствительный Статскій Совѣтникъ *Чернышевъ* — Директоромъ того же Комитета, съ оставленіемъ его Экстраординарнымъ Академикомъ.

Уволенъ Директоръ Геологическаго Комитета, Членъ Горнаго Ученаго Комитета, Ординарный Академикъ ИМПЕРАТОРСКОЙ Академіи Наукъ, Горный Инженеръ, Тайный Совѣтникъ *Карпинскій 2-й*, согласно прошенію, отъ первой изъ означенныхъ должностей, съ присвоеніемъ ему званія Почетнаго Директора Геологическаго Комитета.

г) отъ 1 апрѣля 1903 г. за № 25.

Назначенъ состоящій по Главному Горному Управленію, Горный Инже-

неръ, Коллежскій Ассесоръ *Успенскій 2-й* — Директоромъ Турьинскаго Горнаго Училища, съ оставленіемъ состоящимъ по Главному Горному Управленію.

Произведены Горные Инженеры, за выслугу лѣтъ, со старшинствомъ, изъ Коллежскихъ въ Статскіе Совѣтники: Помощникъ Начальника Юго-Восточнаго Горнаго Управленія *Лазаревъ* — съ 19 ноября 1901 г., Техникъ по горной части при Начальникѣ Квантунской области *Пузановъ* — съ 21 іюля 1900 года, Окружные Инженеры горныхъ округовъ: Уфимскаго *Кихлеръ* — съ 1 декабря 1902 г. и Таврическаго *Гонсіоровскій* — съ 1 іюля 1902 г.; изъ Надворныхъ въ Коллежскіе Совѣтники: Окружные Инженеры горныхъ округовъ: Кѣлецко-Люблинскаго *Жакъ* — съ 10 августа 1902 года и Западно-Забайкальскаго *Левицкій 2-й* — съ 15 декабря 1902 г., Экстраординарный Профессоръ Екатеринославскаго Высшаго Горнаго Училища *Лебедевъ 2-й* — съ 1 ноября 1902 г., Состоящіе по Главному Горному Управленію VII класса: *Паутовъ 2-й* — съ 11 августа 1902 г., *Веръ* — съ 17 августа 1902 г., *Грамматчиковъ 2-й* — съ 10 декабря 1902 г., *Драго* — съ 19 января 1903 г. и *Крживицкій* — съ 1 февраля 1903 г.; изъ Коллежскихъ Ассесоровъ въ Надворные Совѣтники: Окружной Инженеръ Бахмутскаго горнаго округа *Абраамъ* — съ 21 ноября 1902 г., изъ Титулярныхъ Совѣтниковъ въ Коллежскіе Ассесоры: Помощникъ Окружного Инженера Орловско-Тульскаго горнаго округа *Фейгинъ 2-й* — съ 24 декабря 1902 г., Ассистентъ Екатеринославскаго Высшаго Горнаго Училища *Гуськовъ* — съ 16 ноября 1902 г.; Состоящіе по Главному Горному Управленію IX класса: *Богаевскій* — съ 14 октября 1902 г., *Алехинъ* — съ 18 октября 1902 г., *Семеновъ 2-й* — съ 19 октября 1902 г., *Реймерсъ* — съ 26 ноября 1902 г. и *Петре* — съ 10 декабря 1902 г.; изъ Коллежскихъ Секретарей въ Титулярные Совѣтники: Помощникъ Окружного Инженера Таганрогско-Макѣевскаго горнаго округа *Скробанскій* — съ 20 октября 1902 г.; Состоящіе по Главному Горному Управленію IX класса: *Винда* — съ 25 августа 1902 г., *Мыловъ* — съ 24 сентября 1902 г., *Зиксъ* — съ 7 октября 1902 г., *Фіалковскій* — съ 8 октября 1902 г., *Максимовъ 1-й* — съ 14 октября 1902 г., *Чарноцкій* — съ 15 октября 1902 г., *Романихинъ* — съ 19 октября 1902 г., *Тринклеръ* и *Овсянниковъ*, оба — съ 29 октября 1902 г., *Соколовъ 2-й* — съ 6 ноября 1902 г., *Семичевъ* — съ 7 ноября 1902 г., *Домаревъ* — съ 15 ноября 1902 г. *Родыгинъ* и *Мономаховъ 1-й*, оба — съ 16 ноября 1902 г., *Голубевъ 2-й* — съ 30 ноября 1902 г., *Гвоздаревъ* — съ 1 декабря 1902 г., *Дарскій* и *Краснокутскій*, оба — съ 8 декабря 1902 г., *Чугуновъ* — съ 19 декабря 1902 г. и *Леманъ* — съ 25 января 1903 г.; изъ Губернскихъ въ Коллежскіе Секретари: Состоящій по Главному Горному Управленію, IX класса, *Клоповъ* — съ 29 октября 1902 г.

д) отъ 3 апрѣля 1903 г. за № 26.

Назначенъ Причисленный къ Министерству Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ, Горный Инженеръ, Статскій Совѣтникъ *Воронцовъ* — Горнымъ Начальникомъ Камско-Воткинскаго округа, съ 1 апрѣля 1903 года.

Уволенъ отъ службы, согласно прошенію, Горный Начальникъ Камско-Воткинскаго округа, Горный Инженеръ, Дѣйствительный Статскій Совѣтникъ *Троянъ*, съ 1 апрѣля 1903 г., съ мундиромъ, чинамъ горнаго вѣдомства присвоеннымъ.

II.

Причисляются: а) къ Министерству Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ, Маркшейдеръ при Западномъ Горномъ Управленіи, Горный Инженеръ, Коллежскій Совѣтникъ *Свентоховскій* — съ 31 марта 1903 г. съ оставленіемъ въ занимаемой имъ должности.

б) къ Кабинету ЕГО ИМПЕРАТОРСКАГО ВЕЛИЧЕСТВА Коллежскій Совѣтникъ *Кендзерскій*, съ откомандированіемъ въ распоряженіе Начальника Алтайскаго округа и съ оставленіемъ въ спискѣ горныхъ инженеровъ.

Назначаются Горные Инженеры: Состоящіе по Главному Горному Управленію, съ откомандированіемъ въ распоряженіе: Московскаго стекло-промышленнаго Общества Коллежскій Ассесоръ *Ямпольскій* — Сверхштатнымъ Маркшейдеромъ при Горномъ Управленіи Южной Россіи, съ 12 марта 1903 г., безъ содержанія отъ казны; Главнаго Начальника Уральскихъ горныхъ заводовъ Коллежскій Ассесоръ *Діомидовскій*—Смотрителемъ кузнечно-молотовой и пудлингово-прокатной фабрики Пермскихъ пушечныхъ заводовъ, съ 1 апрѣля 1903 г., Управитель сварочнаго и листокатальнаго производствъ Воткинскаго завода, Коллежскій Ассесоръ *Петровъ 3-й*—Управителемъ горныхъ работъ горы Благодати, Механикъ (онъ-же Архитекторъ и Смотритель Чертежной) Управленія Гороблагодатскаго округа, Титулярный Совѣтникъ *Ивановъ 7-й* – Управителемъ сварочнаго и листокатальнаго производствъ Воткинскаго завода и Смотритель Кушвинскаго завода Титулярный Совѣтникъ *Ивановъ 6-й* — Механикомъ (онъ-же Архитекторъ и Смотритель Чертежной) Управленія Гороблагодатскаго округа, всѣ трое — съ 1 апрѣля 1903 г., Состоящій по Главному Горному Управленію, съ откомандированіемъ въ распоряженіе Правленія Екатериновскаго Горнопромышленнаго Общества, Губернскій Секретарь *Клоповъ*—Дѣлопроизводителемъ Главнаго Управленія Алтайскаго округа, вѣдомства Кабинета ЕГО ИМПЕРАТОРСКАГО ВЕЛИЧЕСТВА, съ 15 марта 1903 г. и Коллежскіе Секретари, состоящіе на практическихъ занятіяхъ въ распоряженіи: Начальника Юго-Восточнаго Горнаго Управленія *Мёльманъ*—Смотрителемъ Астраханскаго соляного участка, съ 1 марта 1903 г. и Главнаго Начальника Уральскихъ горныхъ заводовъ *Кнюпферъ*—Смотрителемъ II разряда Златоустовскаго завода, съ Оружейною и Князе-Михайловскою фабриками, съ 10 марта 1903 года.

Утверждается: Исправляющій должность Управителя кузнечно-молотовой и пудлингово-прокатной фабрики Пермскихъ пушечныхъ заводовъ Горный Инженеръ, Коллежскій Ассесоръ *Федоровъ 2-й*, въ означенной должности съ 28 марта 1903 года.

Командируются Горные Инженеры:

1) Для производства геологическихъ изслѣдованій въ Енисейскомъ, Амурско-Приморскомъ, Ленскомъ и Минусинскомъ золотоносныхъ районахъ въ 1903 году:

а) въ Енисейскую партію: Состоящіе по Главному Горному Управленію, Коллежскіе Ассесоры: *Ижицкій* и *Мейстеръ*—Помощниками Начальника партіи, съ оставленіемъ по Главному Горному Управленію;

б) въ Амурско-Приморскую партію: Состоящіе по Главному Горному Управленію: Надворные Совѣтники: *Яворовскій* —Начальникомъ партіи, *Анертъ* и *Хла-*

понинъ и Коллежскіе Ассесоры: *Ивановъ 3-й* и *Риппасъ 2-й* — Помощниками Начальника партіи, съ оставленіемъ по Главному Горному Управленію;

в) въ Ленскую партію: Состоящіе по Главному Горному Управленію, Коллежскій Ассесоръ *Герасимовъ* — Начальникомъ партіи и Коллежскій Секретарь *Преображенскій*—Помощникомъ Начальника партіи, съ оставленіемъ по Главному Горному Управленію;

г) въ Минусинскую партію: Состоящій по Главному Горному Управленію Коллежскій Совѣтникъ *Ячевскій* — Начальникомъ партіи, съ оставленіемъ по Главному Горному Управленію.

2) Внутри Имперіи и за границу:

Членъ Горнаго Совѣта и Вице-Директоръ Горнаго Департамента, Дѣйствительный Статскій Совѣтникъ *Васильевъ* — на Златоустовскіе казенные горные заводы, срокомъ на три недѣли.

Управитель орудійныхъ и механическихъ фабрикъ и пробы орудій и снарядовъ Пермскихъ пушечныхъ заводовъ, Статскій Совѣтникъ *Савинъ*—въ Германію, Францію, Швейцарію и Австрію, срокомъ на одинъ мѣсяцъ, для ознакомленія съ современною постановкою микроскопическихъ изслѣдованій на тамошнихъ металлургическихъ заводахъ и металлографическихъ и механическихъ лабораторіяхъ; Окружной Инженеръ Западно-Забайкальскаго горнаго округа, Надворный Совѣтникъ *Левицкій 2-й*—въ Германію, Австрію, Бельгію и Францію, срокомъ на два мѣсяца, для изученія способовъ брикетированія каменноугольной мелочи; Коллежскіе Ассесоры: Ассистентъ Горнаго Института ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II *Жемчужный* — въ Германію и Францію, срокомъ на пять мѣсяцевъ, для прослушанія имъ, въ теченіе лѣтняго семестра, курса общей, неорганической и органической химіи въ Лейпцигскомъ или Геттингенскомъ Университетахъ, а также для ознакомленія съ современнымъ устройствомъ химическихъ и пробирныхъ Лабораторій и съ методами преподаванія химіи въ Горныхъ Академіяхъ Фрейберга и Клаусталя, а равно въ Политехнической школѣ и въ Collège de France въ Парижѣ; Помощникъ Окружного Инженера Средне-Волжскаго горнаго округа *Цимбаленко 2-й* — въ г. Баку, срокомъ на одинъ мѣсяцъ, для ознакомленія съ положеніемъ бурового дѣла на тамошнихъ нефтяныхъ промыслахъ и состоящій на практическихъ занятіяхъ, въ распоряженіи Директора Горнаго Института ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II, Коллежскій Секретарь *Лебедевъ 3-й* — въ Германію, Бельгію, Швейцарію, Францію и Англію, срокомъ на одинъ годъ, для усовершенствованія въ механикѣ и въ особенности для изученія современной постройки и примѣненія на практикѣ для горнозаводскихъ цѣлей большихъ газовыхъ двигателей.

3) Въ распоряженіе Правительственныхъ Учрежденій и частныхъ горнопромышленныхъ предпріятій.

Состоящіе по Главному Горному Управленію, Горные Инженеры: Коллежскіе Совѣтники: *Копыловъ 1-й*—на заводы Княгини Е. Х. Абамелекъ-Лазаревой, находящіеся въ Пермской губерніи, съ 5 октября 1902 г., Баронъ *Клодтъ-фонъ-Юргенсбургъ*—въ распоряженіе Главнаго Управленія Компаніи Прибрежно-Витимской и Промышленности, съ 4 марта 1903 г., *Покровскій 1-й* — въ распоряженіе Правленія Общества Тульскихъ мѣднопрокатныхъ и патронныхъ заводовъ, съ 26 марта 1903 г., Коллежскіе Секретари: *Теръ-Микеловъ*—въ распоряженіе Правле-

нія Московско-Кавказскаго Нефтяного Промышленнаго и Торговаго Товарищества, съ 1 ноября 1902 г., *Плетниковъ*—въ распоряженіе Начальника Иркутскаго Горнаго Управленія, съ 1 февраля 1903 г, *Добровольскій 2-й*—въ распоряженіе Начальника Юго-Восточнаго Горнаго Управленія, съ 14 марта 1903 г., *Шмотинъ*—въ распоряженіе Правленія Ленскаго золотопромышленнаго Товарищества, съ 15 марта 1903 г., *Крупенинъ* — на желѣзный рудникъ Ю. А. Галковской, находящійся въ имѣніи «Кинь-Горе», Верхнеднѣпровскаго уѣзда, Екатеринославской губерніи, съ 31 марта 1903 г., бывшій Смотритель кузнечно-молотовой и пудлингово-прокатной фабрики Пермскихъ пушечныхъ заводовъ *Канненбергъ*— въ распоряженіе Камскаго Акціонернаго Общества, съ 25 января 1903 г., и состоящіе на практическихъ занятіяхъ, въ распоряженіи Директора Геологическаго Комитета: *Делярю*—въ распоряженіе Инженера Путей Сообщенія Арцибашева, съ 17 сентября 1902 г., *Голубятниковъ*—съ 4 октября 1902 г. и *Семенченко* — съ 1 января 1903 г., въ распоряженіе Директора названнаго Комитета; послѣдніе четыре—съ зачисленіемъ по Главному Горному Управленію (IX кл.), а остальные съ оставленіемъ по сему Управленію, изъ нихъ *Плетниковъ*—для назначенія на должность Маркшейдера Иркутскаго Горнаго Управленія, а остальные—для техническихъ занятій, всѣ—безъ содержанія отъ казны.

Поручается Горному Инженеру, Начальнику Отдѣленія Горнаго Департамента, Коллежскому Совѣтнику *Бисарнову* исполненіе обязанностей Вице-Директора сего Департамента на время командировки Дѣйствительнаго Статскаго Совѣтника Васильева 1-го.

Зачисляется по Главному Горному Управленію (VII кл.) Маркшейдеръ Уральскаго Горнаго Управленія, Горный Инженеръ, Надворный Совѣтникъ *Шуруповъ*, съ 21 марта 1903 г., съ оставленіемъ его Исполн. обязанности Маркшейдера сего Управленія.

Увольняются Горные Инженеры:

а) отъ службы по горному вѣдомству: Владикавказскій Губернскій Пробиреръ, Надворный Совѣтникъ *Карахановъ*, съ 16 марта 1903 г. и состоящіе по Главному Горному Управленію: Титулярный Совѣтникъ *Саплица* — съ 1 января 1899 г. и Коллежскій Секретарь *Жебровскій* — съ 26 января 1902 г., изъ нихъ Карахановъ, согласно прошенію, съ мундиромъ, чинамъ горнаго вѣдомства присвоеннымъ, а Саплица и Жебровскій, на основаніи ст. 182 Т. VII, Уст. Горн., по прод. 1902 г., за окончаніемъ годичнаго срока состоянія по Главному Горному Управленію.

б) въ отпускъ: Окружные Инженеры горныхъ округовъ: 1-го Кавказскаго— Статскій Совѣтникъ *Цейтлинъ* — на 28 дней; Средне-Волжскаго — Надворный Совѣтникъ *Зайцевскій* —на семь дней, Ассистентъ Горнаго Института ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II, Коллежскій Ассесоръ *Корзухинъ* — на два мѣсяца; Состоящіе по Главному Горному Управленію, Коллежскіе Совѣтники: *Вольфъ 1-й*— на одинъ мѣсяцъ, *Радловъ*—на двѣ недѣли, Надворные Совѣтники: *Гойеръ*—на двѣ недѣли, *Лебурде* — на одинъ мѣсяцъ и Коллежскій Ассесоръ *Адольфъ* — на три мѣсяца, изъ нихъ первые двое внутри Имперіи, съ сохраненіемъ содержанія, а остальные за границу.

Объявляю о семъ по горному вѣдомству, для свѣдѣнія и надлежащаго исполненія.

№ 6. 8 мая 1903 года.

I.

ВЫСОЧАЙШИМИ приказами по гражданскому вѣдомству:

а) отъ 6 апрѣля 1903 г. за № 27.

Награждены: Горные Инженеры орденами: *Св. Станислава 2 ст.* — Управляющій Закавказскимъ пробирнымъ округомъ, Статскій Совѣтникъ *Шмидецкій; Св. Станислава 3 ст.* — Пробиреръ Варшавскаго Окружного Пробирнаго Управленія, Надворный Совѣтникъ *Станслеръ*, и Помошникъ Управляющаго Лабораторіею раздѣленія металловъ С.-Петербургскаго Монетнаго Двора Коллежскій Ассесоръ *Зуевъ 2-й.*

б) отъ 13 апрѣля 1903 г. за № 29.

Уволенъ отъ службы, согласно прошенію, Помощникъ Начальника Алтайскаго округа, вѣдомства Кабинета ЕГО ИМПЕРАТОРСКАГО ВЕЛИЧЕСТВА Горный Инженеръ, Дѣйствительный Статскій Совѣтникъ *Мартини*, съ 16 марта съ мундиромъ, чинамъ горнаго вѣдомства присвоеннымъ.

II.

Увольняется въ отпускъ Директоръ Горнаго Департамента, Заслуженный Профессоръ Горнаго Института ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II, Членъ Горнаго Ученаго Комитета, Горный Инженеръ, Тайный Совѣтникъ *Іосса* внутри Имперіи, съ сохраненіемъ содержанія, срокомъ на одинъ мѣсяцъ.

Поручается Горнымъ Инженерамъ: Вице-Директору Горнаго Департамента, Дѣйствительному Статскому Совѣтнику *Васильеву* управленіе Горнымъ Департаментомъ на время отсутствія Директора сего Департамента, Тайнаго Совѣтника Іосса; Начальнику Отдѣленія частныхъ золотыхъ промысловъ, Коллежскому Совѣтнику *Бисарнову* исполненіе обязанностей Вице-Директора, на время управленія Департаментомъ Дѣйствительнымъ Статскимъ Совѣтникомъ Васильевымъ.

Объявлено о семъ по горному вѣдомству, для свѣдѣнія и надлежащаго исполненія.

Подписалъ: Министръ Земледѣлія и
Государственныхъ Имуществъ, Статсъ-Секретарь *А. Ермоловъ.*

ГОРНОЕ И ЗАВОДСКОЕ ДѢЛО.

ИЗЪ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВЪ ГОРНАГО ИНСТИТУТА ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II.

Проф. В. И. Баумана [1]).

I. Опредѣленіе точки рѣшеніемъ задачи Потенота.

Въ статьѣ „Сравнительный очеркъ положенія маркшейдерскаго дѣла въ Германіи и Россіи“ неоднократно отмѣчалось вліяніе изданной управленіемъ прусскаго кадастра: „Инструкціи по производству землемѣрныхъ работъ“ на общую постановку всего землемѣрнаго и въ частности маркшейдерскаго дѣла Пруссіи.

Желаніе ознакомить нашихъ маркшейдеровъ съ приложенными къ книгѣ крайне удобными формулярами для различныхъ измѣреній, встрѣчающихся въ маркшейдерской практикѣ, и послужило главнымъ мотивомъ къ опубликованію настоящей замѣтки.

Вмѣстѣ съ тѣмъ, мнѣ хотѣлось еще разъ подчеркнуть то вниманіе, которымъ пользуется въ Германіи вопросъ о правильномъ соединеніи рудничной съемки съ общею съемкою страны, этотъ основной вопросъ маркшейдерской практики.

Описанный ниже примѣръ опредѣленія и уравновѣшенія координатъ начальной точки на чердакѣ Института взятъ изъ работъ студентовъ А. П. Кондратьева и В. П. Пестерева, которымъ и принадлежитъ весь относящійся сюда цифровой матеріалъ. Мое участіе въ данной работѣ выразилось лишь въ общемъ руководствѣ ею, контролѣ вычисленій и составленіи необходимыхъ къ формулярамъ поясненій.

Прежде, чѣмъ приступить къ изложенію хода работъ по вычисленію и уравновѣшенію координатъ искомой точки, скажу нѣсколько словъ объ

[1]) Въ сотрудничествѣ со студентами А. П. Кондратьевымъ и В. П. Пестеревымъ.

общей организаціи практическихъ работъ студентовъ въ примѣрномъ рудникѣ Института.

Для практическихъ работъ студенты разбиваются на группы, по 4—5 человѣкъ въ каждой. Полный циклъ работъ каждой группы слагается изъ слѣдующихъ отдѣльныхъ операцій:

1) Опредѣленіе, рѣшеніемъ задачи Потенота, координатъ начальной точки въ слуховомъ окнѣ Института, принимая за давныя координаты нѣкоторыхъ точекъ петербургской тріангуляціи Военно-Топографическаго Отдѣла Главнаго Штаба.

2) Производство и вычисленіе теодолитной полигонной съемки по чердаку Института до отвѣсовъ на лѣстницѣ, принимаемой за шахту, и отъ этихъ послѣднихъ по руднику до одного изъ выходовъ на поверхность.

3) Производство съемки висячими инструментами по тому-же полигону, по которому была произведена теодолитная съемка, съ занесеніемъ всѣхъ встрѣченныхъ при съемкѣ подробностей.

4) Производство рудничнаго нивелированія по тому-же полигону.

5) Оріентировка теодолитной рудничной съемки помощью инструментовъ съ магнитною стрѣлкою и ея вычисленіе, пользуясь кривыми суточнаго колебанія склоненія Павловской обсерваторіи.

6) Составленіе и отдѣлка плановъ и профилей снятаго полигона, при чемъ планъ теодолитной съемки составляется по вычисленнымъ координатамъ угловыхъ ея точекъ, а планъ съемки висячими инструментами накладывается на тотъ-же чертежъ однимъ изъ графическихъ способовъ.

7) Рѣшеніе по даннымъ съемки одной изъ задачъ, встрѣчающихся при разработкѣ мѣсторожденій, и

8) Оцѣнка точности достигнутыхъ съемкою результатовъ и уравновѣшеніе оказавшихся при съемкѣ погрѣшностей.

Слѣдуетъ замѣтить, что приведенный циклъ работъ обязателенъ только для студентовъ, желающихъ спеціализироваться на изученіи наукъ чисто горнаго отдѣла; для студентовъ же металлурговъ работы по маркшейдерскому искусству значительно сокращены. [1])

---

[1]) Приведенную организацію работъ въ примѣрномъ рудникѣ Института ни въ коемъ случаѣ нельзя признать правильною и принята она лишь въ силу необходимости. Съемка въ примѣрномъ рудникѣ—въ подвалахъ Института не даетъ студентамъ даже отдаленнаго представленія о тѣхъ трудностяхъ, съ которыми приходится встрѣчаться при съемкѣ на настоящемъ рудникѣ и, что особенно важно, не даетъ и не можетъ дать представленія о способахъ составленія и отдѣлки плановъ разработокъ въ наклонной плоскости пласта или жилы. Было-бы, поэтому, гораздо болѣе раціональнымъ включить всѣ работы по производству рудничной съемки и соединенію послѣдней со съемкою на поверхности въ въ циклъ лѣтнихъ работъ студентовъ, поставивъ ихъ на одномъ изъ настоящихъ рудниковъ. Зимою-же поставить работы по изслѣдованію приборовъ, рѣшенію задачъ и т. п. работы кабинетнаго характера. Къ сожалѣнію, эта единственно правильная постановка дѣла является въ настоящее время утопіей. У Института нѣтъ средствъ для постановки лѣтнихъ работъ и сколько-нибудь удовлетворительнаго оборудованія своихъ кабинетовъ,

Опредѣленіе принятой на планахъ системы координатъ. Благодаря опредѣленію координатъ начальной точки изъ координатъ точекъ петербургской тріангуляціи, явилось возможнымъ отнести планы нашихъ съемокъ къ системѣ координатъ, принятой при вычисленіи названной тріангуляціи.

Осями координатъ при этомъ служили:

a) Меридіанъ, проходящій черезъ шпицъ обсерваторіи академіи наукъ,—осью абсциссъ.

b) Линія, къ нему перпендикулярная,—осью ординатъ.

c) Отвѣсная линія—осью высотъ.

Абсциссы точекъ считаются положительными къ N и отрицательными къ S; ординаты—положительными къ O и отрицательными къ W отъ начала координатъ. Азимуты или углы простиранія (дирекціональные углы) отсчитываются отъ положительнаго отрѣзка оси абсциссъ въ сторону положительнаго отрѣзка оси ординатъ (по движенію часовой стрѣлки) отъ 0 до 360° (см. фиг. 1, Табл. I,), гдѣ показано направленіе положительныхъ и отрицательныхъ осей координатъ и счетъ квадратовъ для азимутовъ).

Начальнымъ горизонтомъ, къ которому отнесены горизонтальныя координаты точекъ и отъ котораго отсчитываются высоты послѣднихъ, служитъ горизонтъ уровня Балтійскаго моря, положенный въ основу петербургской тріангуляціи ген. Шуберта. Данныя въ т. VII Записокъ Военно-Топографическаго Отдѣла прямоугольныя координаты точекъ представляютъ собою собственно координаты Пюйсанса на шарѣ, касательномъ къ земному сфероиду Вальбека въ точкѣ, принятой за начало координатъ. По незначительности разстоянія точекъ отъ этой послѣдней можно, однако, принять названныя координаты за прямоугольныя координаты на плоскости, касательной къ поверхности уровня въ точкѣ, принятой за начало.

Характеристика точности тріангуляціи. Большинство точекъ, на которыя приходилось визировать, помѣчены въ абрисахъ петербургской тріангуляціи Главнаго Штаба пунктами 3-го класса и были получены засѣчкою съ извѣстныхъ уже пунктовъ 2-го класса. Углы измѣрялись теодолитомъ Рейхенбаха работы механическаго отдѣленія Главнаго Штаба и универсальнымъ приборомъ Эртеля (точность отсчитыванія по ноніусамъ 2″) помощью 20—30 повтореній для пунктовъ второго и 10—15 для пунктовъ 3-го классовъ. Базисомъ тріангуляціи служилъ петербургскій базисъ,

---

а у студентовъ, при современной энциклопедичности учебнаго курса, отбивается всякая охота сколько-нибудь серьезно заняться каждымъ изъ многочисленныхъ, часто крайне разнообразныхъ предметовъ общей программы Института. Съ этой стороны необходимо желать, чтобы разработанный Совѣтомъ Института еще два года тому назадъ проектъ спеціализаціи курса на отдѣлы рудничный и заводскій и связанный съ нимъ проектъ увеличенія средствъ на постановку учебной части въ Институтѣ получилъ-бы, наконецъ, практическое осуществленіе. Особенно настоятельнымъ для Института является осуществленіе названныхъ проектовъ теперь, когда число студентовъ удвоилось, противъ того числа ихъ, на которое разсчитаны штаты, и когда институту приходится считаться съ конкуренціей другихъ высшихъ горнотехническихъ учебныхъ заведеній.

близъ села Московской Царской Славянки, измѣренный въ 1825 г. базиснымъ приборомъ Шуберта.

Вычисленіе трехугольниковъ и указанныхъ прямоугольныхъ координатъ точекъ велось по формуламъ сферической тригонометріи на шарѣ, радіусъ котораго равенъ среднему кривизны земного сфероида Вальбека на параллели Обсерваторіи Академіи Наукъ. Уравновѣшенія координатъ точекъ 3-го класса не производилось, и за истинныя значенія координатъ принималось среднее ариѳметическое изъ данныхъ отдѣльныхъ (обыкновенно 2-хъ на каждую точку) опредѣленій, при чемъ разность между этими послѣдними доходила въ нѣкоторыхъ случаяхъ до 0,3—0,5 саж. (см. прилагаемый списокъ координатъ точекъ визированія).

Отмѣтка опредѣляемой точки. Для отмѣтки начальной точки у слухового окна на чердакѣ Института прочно укрѣплена деревянная доска съ отверстіемъ посрединѣ, служившимъ для пропусканія станового винта теодолита. Острія установительныхъ винтовъ ставятся въ вырѣзы мѣдныхъ планокъ, чѣмъ достигается автоматическая центрировка оси прибора надъ центромъ средняго отверстія.

При измѣреніи угла полигона между направленіемъ на одну изъ точекъ тріангуляціи и направленіемъ на первую точку на чердакѣ, теодолитъ замѣнялся имѣющимся въ коллекціи Института приборомъ Юнге, подробно описаннымъ въ сочиненіи Г. А. Тиме: „Отысканіе астрономическаго меридіана и устройство магнитныхъ деклинаторій для цѣлей маркшейдерскихъ“. Тотъ-же гоніометръ и сигналы Юнге примѣняются и для измѣренія остальныхъ угловъ полигона, ибо при небольшой длинѣ сторонъ для насъ было важно уменьшить по возможности ошибку отъ эксцентриситета теодолита и сигналовъ.

Координаты точекъ, служившихъ точками визированія; измѣреніе угловъ при искомой точкѣ. Точками визированія служили слѣдующія 6 точекъ петербургской тріангуляціи: Андреевскій соборъ, Петропавловскій соборъ, куполъ Академіи Художествъ, шпицъ обсерваторіи Академіи Наукъ, *W* флагъ стараго Адмиралтейства и шпиль стараго Адмиралтейства.

Координаты всѣхъ перечисленныхъ точекъ вмѣстѣ съ необходимыми поясненіями сведены въ прилагаемой таблицѣ.

Теодолитъ повторительный снабженъ двумя лимбами: горизонтальнымъ и вертикальнымъ. Горизонтальный лимбъ раздѣленъ на градусы и $\frac{1^\circ}{3}$, вертикальный—на градусы и полуградусы. Отсчитыванія на каждомъ лимбѣ ведутся по двумъ ноніусамъ. Точность ноніусовъ равна $1'$ и м. б. доведена до $30''$, если мы будемъ принимать въ расчетъ одинаковое на глазъ совпаденіе двухъ смежныхъ черточекъ ноніуса. Уровень для надлежащаго установа прибора накладывается на цапфы оси вращенія трубы. Исправительныхъ винтовъ у уровня и подишниковъ оси вращенія трубы нѣтъ, почему при перекладываніи уровня и поворотѣ алидады на 180° приходится доволь-

Таблица I.

№№ точекъ.	Разрядъ.	НАЗВАНІЕ ТОЧЕКЪ.	№№ координатъ въ порядкѣ вычисленія.	Абсциссы.		Ординаты.		Сѣв. широта *).			Разность долготъ.			
				±	Сажени.	±	Сажени.	°	′	″	±	°	′	″
		Ц. Св. Андрея Первозв.	2146	−	88,054	−	554,325							
208	3	Главный куполъ. . . .	2217		7,951		4,070							
				−	88,003	−	554,193	59	56	25,38	−	0	1	16,17
		Петропавловскій соборъ	6	+	448,225	+	302,960							
			36		8,089		2,834							
265	2	Шпиль колокольни. . .	70		8,269		2,848							
			84		8,560		2,843							
			91		8,448		2,978							
			96		8,100		2,825							
			118		8,841		3,249							
				+	448,366	+	302,934	59	57	2,35	+	0	0	41,65
		Академія Художествъ	2124	−	214,836	−	371,598							
215	3	Куполъ на главномъ фасадѣ	2218		4,773		1,478							
				−	214,805	−	371,538	59	56	16,65	−	0	0	51,06
244	1	Академія Наукъ, обсерваторія	0		0		0							
		Адмиралтейство . . .	2165	−	207,220	−	1,259							
			2189		7,438		1,088							
214	3	IV флагъ.		−	207,329	−	1,174	59	56	17,16	−	0	0	0,16
		Адмиралтейство . . .	2164	−	211,851	+	106,929							
			2191		1,632		7,100							
285	3	Шпиль.		−	211,742	+	107,015	59	56	16 86	+	0	0	14,71

Примѣчаніе. Поименованныя точки расположены здѣсь въ порядкѣ визированія на нихъ, вращая алидаду по часовой стрѣлкѣ и принимая куполъ Андреевскаго собора за начальную (крайнюю лѣвую) точку, по которой оріентируется приборъ.

ствоваться отклоненіемъ пузырька на одно и то же число дѣленій. Чувствительность уровня не опредѣлялась, ибо при небольшихъ сравнительно углахъ наклоненія визирныхъ линій къ горизонту, погрѣшность отъ несовершенной вертикальности вертикальной оси вращенія теодолита мало вліяетъ на точность измѣренія горизонтальныхъ угловъ. Углы же наклоненія линій къ горизонту въ данномъ случаѣ не измѣрялись.

Измѣреніе угловъ производилось способомъ пріемовъ, подробно излагаемомъ въ каждомъ сколько-нибудь обширномъ руководствѣ по геодезіи и маркшейдерскому искусству. При измѣреніи дѣлалось три полныхъ пріема, при чемъ передъ каждымъ изъ нихъ алидада поворачивалась на $\frac{180}{3} = 60^0$, что при наличности двухъ ноніусовъ даетъ намъ углы, отсчитанные въ 6 мѣстахъ, распредѣленныхъ симметрически по лимбу.

Каждый пріемъ состоитъ изъ двухъ измѣреній въ I и въ II положеніи трубы (до и послѣ перевода послѣдней черезъ зенитъ), при чемъ за первое положеніе принималось то изъ нихъ, при которомъ вертикальный лимбъ находится справа отъ наблюдателя, смотрящаго въ окуляръ трубы.

Каждый пріемъ начинался съ измѣренія угловъ въ первомъ положеніи трубы, при чемъ сначала 0 ноніуса перваго совмѣщался съ опредѣленной чертой лимба [1]), брали отсчетъ по ноніусу II и оріентировали по направленію на Андреевскій соборъ дѣйствіемъ нажимного и микрометреннаго винта лимба, послѣ чего повѣрялись отсчеты по ноніусамъ, которые должны остаться прежними [2]).

Оріентнровавъ теодолитъ, визируютъ вращеніемъ алидады послѣдовательно на точки 2, 3, 4, 5 и 6 приложеннаго выше списка и заполняютъ взятыми отсчетами графы 3, 4 и 5 прилагаемаго формуляра [3]), при чемъ отсчеты по ноніусу I записываютъ цѣликомъ; въ отсчетахъ же по ноніусу II и въ среднемъ только $'$ и $''$.

Послѣ визированія на послѣднюю точку, освобождаютъ алидаду и вращеніемъ послѣдней въ ту же сторону снова визируютъ на первую точку, берутъ и записываютъ отсчеты по ноніусамъ, которые, въ предѣлахъ точности отсчета, должны остаться прежними, что убѣждаетъ насъ въ неподвижности лимба во время измѣренія. Далѣе переводятъ трубу черезъ зенитъ, поворачиваютъ алидаду при неподвижномъ лимбѣ на 180^0, повторяютъ тѣ же измѣренія во II положеніи трубы и записываютъ соотвѣтствующіе отсчеты въ графы 6, 7 и 8 формуляра.

Отличіе даннаго измѣренія отъ перваго заключается въ томъ, что при визированіи на точки вращаютъ алидаду въ сторону, противоположную

---

[1]) Съ 0 дѣленіемъ въ I, 60^0 во II и 120^0 въ III пріемахъ.

[2]) Обыкновенно рекомендуется не совмѣщать точно 0 черту ноніуса I, а поставивъ ее вблизи извѣстнаго дѣленія лимба, брать отсчеты по обоимъ ноніусамъ. Въ данномъ случаѣ допущено отступленіе отъ этого правила въ видахъ удобства сравненія между собою работъ различныхъ студентовъ.

[3]) См. табл. 2.

градусной надписи лимба и заполняютъ графы 6, 7 и 8 формуляра въ направленіи снизу вверхъ, а не сверху внизъ, какъ при первомъ измѣреніи.

Далѣе, для удобства вычисленія окончательнаго результата, полезно записывать полный отсчетъ по ноніусу II, который въ данномъ случаѣ сходится въ градусахъ съ отсчетомъ по ноніусу I при первомъ положеніи трубы и только и минуты, и секунды по ноніусу I.

По окончаніи каждаго измѣренія вычисляютъ для каждаго направленія среднее I и II положенія трубы (см. графу 9), взявъ градусы изъ графы 3-й и среднее ариѳметическое изъ отсчетовъ въ графахъ 5-й и 8-й. Имѣя средніе отсчеты изъ I и II положенія трубы, вычисляютъ такъ называемое приведенное среднее (графа 10) вычитаніемъ отсчета на первую точку изъ всѣхъ остальныхъ.

Приведенное среднее дастъ намъ для даннаго пріема величину угла между направленіемъ на первую точку (у насъ Андреевскій соборъ), отсчетъ на которую равенъ $0^0\ 0'\ 9''$ и направленіемъ на каждую изъ остальныхъ точекъ.

При этомъ повѣрочный отсчетъ на первую точку долженъ получиться равнымъ 360^0, ибо намъ пришлось при визированіи описать полный кругъ. Если, какъ это, напримѣръ, имѣетъ мѣсто у насъ въ послѣднемъ пріемѣ, данный отсчетъ отличается отъ 360^0 на нѣкоторую величину (не превышающую $1'—2'$), то разность S между нимъ и 360^0 принимается за ошибку, происшедшую отъ сдвиженія лимба.

Принимая, что сдвиженіе лимба происходило равномѣрно при визированіи на каждую точку, вычисляютъ ошибку для одного визированія $\left(w = \frac{S}{n}\right)$ и отнимаютъ изъ отсчета на вторую точку величину самой ошибки w, на третью $2\ w$, на четвертую $3\ w$ и т. д. и изъ контрольнаго отсчета на первую точку $nw = S$. Такимъ образомъ получаютъ такъ называемое: „уравновѣшенное среднее“ (на сумму угловъ вокругъ одной точки), которое и записываютъ въ графу 11 журнала [1]).

Послѣ вывода приведеннаго и уравновѣшеннаго средняго для всѣхъ отсчетовъ перваго пріема, повторяютъ по вышеуказанному всѣ измѣренія и вычисленія для второго и третьяго пріемовъ, повернувъ передъ каждымъ изъ нихъ лимбъ на $\frac{180}{3} = 60^0$.

Изъ полученныхъ такимъ образомъ для каждаго пріема уравновѣшенныхъ среднихъ берутъ среднее ариѳметическое, которое и разсматриваютъ за окончательную величину угловъ между направленіемъ на первую точку и на каждую изъ остальныхъ.

---

[1]) Въ нашемъ примѣрѣ разность между приведеннымъ среднимъ на первую точку и 360^0 получилась для послѣдняго пріема равной $S = +5''$; ошибка для одного визированія равна $w = \frac{+16''}{6} = +2^1/_2''$, почему изъ отсчета на вторую точку отнято $2''$, на 3-ю $2 \times 2^1/_2 = 5''$, на 4-ю $3 \times 2^1/_2 = 7''$, на 5-ю $4 \times 2^1/_2 = 10''$, на 6-ю $5 \times 2^1/_2 = 12''$ и изъ контрольнаго отсчета на первую точку $6 \times 2^1/_2 = 15''$.

Таблица II.

Измѣреніе угла при точкѣ въ слуховомъ окнѣ Института.

Точки стоянія.		Точки визированія.	I положеніе трубы. Нон. A. ° ′ ″	I положеніе трубы. Нон. B. ′ ″	I средн. ′ ″	II положеніе трубы. Нон. B. ° ′ ″	II положеніе трубы. Нон. A. ′ ″	II средн. ′ ″	Среднее изъ I и II. ° ′ ″	Приведенное среднее. ° ′ ″	Уравновѣшенное среднее. ° ′ ″	Примѣчанія.
1.		2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	
P	1 пріемъ.	Андреевскій соборъ	0 00 0	59 00	59 30	0 0	58 0	59 0	359 59 15	0 0 0	0 0 00	
		Петропавловскій соборъ	13 04 0	02 30	3 15	13 2	1 0	1 45	13 2 30	13 3 15	13 3 15	
		Академія Художествъ	18 05 30	03 30	4 30	18 4	2 30	3 15	18 3 52	18 4 37	18 4 37	
		Академія Наукъ	20 12 30	10 30	11 30	20 11	9 0	10 15	20 10 52	20 11 37	20 11 37	
		Флагъ Адмиралтейства	29 42 0	41 00	41 30	29 41	40 0	40 30	29 41 0	29 41 45	29 41 45	
		Шпиль Адмиралтейства	32 06 30	05 30	6 0	32 7	5 0	6 0	32 6 0	32 6 45	32 6 45	
		Андреевскій соборъ	0 00 0	58 00	59 0	0 0	59 0	59 30	359 59 15	360 0 0	0 0 00	
	2 пріемъ.	Андреевскій соборъ	60 00 0	59 00	59 30	60 0	59 0	59 30	59 59 30	0 0 0	0 0 00	Оконч. результ. 0 0 00
		Петропавловскій соборъ	73 3 0	2 30	2 45	73 4	3 0	3 30	73 3 7	13 3 37	13 3 37	13 3 29
		Академія Художествъ	78 4 0	4 00	4 0	78 4	4 0	4 0	78 4 0	18 4 30	18 4 30	18 4 36
		Академія Наукъ	80 11 0	11 30	11 15	80 12	12 0	12 15	80 11 45	20 12 15	20 12 15	20 12 00
		Флагъ Адмиралтейства	89 41 0	40 30	40 45	89 42	42 0	42 0	89 41 22	29 41 52	29 41 52	29 41 54
		Шпиль Адмиралтейства	92 5 0	5 30	5 15	92 6	6 30	6 30	92 5 52	32 6 22	32 6 22	32 6 23
		Андреевскій соборъ	60 0 0	58 00	59 0	60 0	0 0	0 0	59 59 30	360 0 0	0 0 00	0 0 00
	3 пріемъ.	Андреевскій соборъ	120 0 0	2 00	1 0	120 0	2 0	1 0	120 1 0	0 0 0	0 0 00	
		Петропавловскій соборъ	133 4 0	5 30	4 45	133 4	5 0	4 30	133 4 37	13 3 37	13 3 35	
		Академія Художествъ	138 5 0	7 00	6 0	138 5	6 0	5 30	138 5 45	18 4 45	18 4 41	
		Академія Наукъ	140 12 0	14 00	13 0	140 13	14 0	13 30	140 13 15	20 12 15	20 12 08	
		Флагъ Адмиралтейства	149 42 0	44 00	43 0	149 43	44 0	43 30	149 43 15	29 42 15	29 42 05	
		Шпиль Адмиралтейства	152 6 0	8 00	7 0	152 7	8 0	7 30	152 7 15	32 6 15	32 6 03	
		Андреевскій соборъ	120 0 0	2 00	1 0	120 0	3 0	1 30	120 1 15	360 0 15	360 0 00	

Эта окончательная величина угловъ и послужила для опредѣленія и уравновѣшенія координатъ искомой точки рѣшеніемъ задачи Потенота.

Опредѣленіе приближеннаго значенія координатъ искомой точки рѣшеніемъ задачи Потенота. Выборъ подходящей для этой цѣли комбинаціи точекъ. Рѣшеніе задачи Потенота даетъ возможность по данному положенію трехъ неприступныхъ точекъ опредѣлить положеніе четвертой точки измѣреніемъ угловъ α и β между направленіями съ искомой точки на три данныя.

Значеніе этой задачи въ маркшейдерской практикѣ станетъ понятнымъ, если мы укажемъ на то обстоятельство, что рѣшеніе ея даетъ удобный способъ для соединенія начальной точки маркшейдерской съемки, а съ нею вмѣстѣ и всей съемки съ общею тріангуляціею округа.

Несмотря на всю общеизвѣстность данной задачи, значеніе ея до сихъ не оцѣнено нашими маркшейдерами-практиками, главнѣйше, вѣроятно, потому, что задача соединенія съемокъ отдѣльныхъ рудниковъ съ общею тріангуляціею округа совершенно игнорируется на большинствѣ нашихъ рудниковъ.

Предполагая, что такая ненормальная постановка дѣла должна измѣниться къ лучшему, мы и сочли возможнымъ повторить здѣсь общеизвѣстное рѣшеніе данной задачи на взятомъ частномъ примѣрѣ. Рѣшеніе ведется по соотвѣтствующимъ формулярамъ книги Anweisung IX, популяризація которыхъ среди нашихъ маркшейдеровъ составляетъ, какъ объ этомъ было сказано выше, главную задачу настоящей статьи.

Графически задача рѣшается весьма просто слѣдующимъ образомъ:

Построивъ по даннымъ координатамъ три точки A, B и C (см. черт. 2), строятъ на прямыхъ AB и BC дуги ABP и $ABCP$, вмѣщающія измѣренные при точкѣ P углы $APB = \alpha$ и $BPC = \beta$.

Пересѣченіемъ этихъ дугъ опредѣлится искомая точка P, ибо углы APB и BPC при этой точкѣ будутъ равны даннымъ угламъ α и β.

Графическое рѣшеніе задачи Потенота даетъ наглядное представленіе о наивыгоднѣйшемъ расположеніи точекъ для ея рѣшенія. Искомая точка опредѣляется въ данномъ случаѣ пересѣченіемъ двухъ окружностей.

Задача получается неопредѣленной въ томъ случаѣ, когда всѣ четыре точки лежатъ на одной окружности (сумма угловъ $\varphi + \psi = 180^0$) или на одной прямой ($\varphi + \psi = 0^0$).

Пересѣченіе тѣхъ же окружностей обнаруживается съ наибольшей ясностью, когда уголъ и между касательными, проведенными въ точкѣ P, будетъ прямой, другими словами, когда сумма угловъ $\varphi + \psi = 90^0$ (черт. 2-й) или 270^0 (черт. 3) [1]. Руководствуясь сказаннымъ и пользуясь

---

[1]) Это послѣднее соображеніе лишь приблизительно справедливо. Для рѣшенія вопроса о наивыгоднѣйшей формѣ четырехугольника необходимо болѣе подробное изслѣдованіе, которое будетъ приведено ниже—въ концѣ настоящей замѣтки.

примѣрными координатами искомой точки P, взятыми изъ плана г. Петербурга для аналитическаго рѣшенія задачи Потенота, были выбраны слѣдующія три данныя точки:

	Абсциссы X. ±	Сажени.	Ординаты У. ±	Сажени.
Андреевскій соборъ	—	88,003	—	554,198
Академія Наукъ	—	0	—	0
W флагъ Адмиралтейства. .	—	207,329	—	1,174

которыя въ соединеніи съ искомой точкой P (примѣрныя координаты $X=-630$ и $У=-935$, четырехугольникъ съ суммою угловъ $\varphi+\psi=$около 250^0.

Переходя къ аналитическому рѣшенію задачи, полезно ввести постоянныя обозначенія входящихъ въ нее элементовъ, чтобы получить рѣшеніе, общее для всѣхъ случаевъ расположенія точекъ.

Обозначимъ искомую точку черезъ D, три данныя точки—буквами A, B и C въ томъ порядкѣ, въ какомъ онѣ представляются съ искомой точки отъ лѣвой руки къ правой.

Черезъ α и β обозначимъ измѣренные при точкѣ D углы, между направленіемъ на среднюю точку B и каждую изъ крайнихъ, и черезъ γ уголъ ABC при точкѣ B въ четырехугольникѣ $ABCD$ [1]).

Стороны даннаго Δ-ка ABC обозначимъ, какъ обыкновенно, малыми буквами a, b и c по противолежащимъ его вершинамъ.

Наконецъ, черезъ A и C обозначимъ азимуты или, углы простиранія линій AB и CB, отсчитывая ихъ, какъ обыкновенно, отъ положительнаго отрѣзка оси абсциссъ въ сторону положительнаго отрѣзка оси ординатъ отъ 0^0 до 360^0 (направленіе отсчитыванія на чертежѣ показано стрѣлкою).

Обозначивъ черезъ X и $У$ съ соотвѣтствующими значками координаты точекъ, черезъ φ и ψ—неизвѣстные углы BAD и BCD при точкахъ A и C и черезъ S_A, S_B и S_C—разстоянія точки D отъ трехъ данныхъ точекъ, найдемъ по формуламъ

$$\left.\begin{array}{l} Ad = X_D - X_A = S_A \cos(A+\varphi); Dd = S_A \sin(A+\varphi) \\ Cd_1 = X_D - X_C = S_C \cos(C-\psi) \text{ и } Dd_1 = S_C \sin(C-\psi) \end{array}\right\} \ldots \text{(I)}$$

приращенія координатъ точки D относительно точекъ A и C, зная которыя, легко опредѣлить и координаты точки D, равныя соотвѣтственно:

$$\left.\begin{array}{l} X_D = X_A + X_D - X_A = X_A + S_A \cos(A+\varphi) \\ У_D = У_A + У_D - У_A = У_A + S_A \sin(A+\varphi) \text{ и для контроля:} \\ X_D = X_C + X_D - X_C = X_C + S_C \cos(C-\psi) \\ У_D = У_C + У_D - У_C = У_C + S_C \sin(C-\psi) \end{array}\right\} \ldots \text{(II)}$$

гдѣ знаки приращеній $X_D - X_A$, $У_D - У_A$, $X_D - X_C$, $У_D - У_C$ зависятъ отъ знака sin и cos угловъ $A+\varphi$ и $C-\psi$.

[1]) Уголъ этотъ намъ данъ, ибо дано положеніе точекъ A, B и C.

Для опредѣленія сторонъ S_A и S_C и угловъ φ и ψ четырехугольника $ABCD$ мы имѣемъ слѣдующія уравненія:

$$\varphi + \psi + \alpha + \beta + \gamma = 360^0,$$

или

$$\frac{\varphi + \psi}{2} = 180^0 - \frac{\alpha + \beta + \gamma}{2} = m \quad \ldots\ldots\ldots \text{(III)}$$

и

$$\gamma = A' - C' = A - C \quad \ldots\ldots\ldots \text{(IV)}$$

гдѣ A' и C' — обратные азимуты линій AB и CB съ точки B на точки A и C и вмѣсто отрицательнаго угла γ слѣдуетъ брать его дополненіе до 360^0.

$$S_B = \frac{a}{\sin \alpha} \cdot \sin \varphi = \frac{c}{\sin \beta} \sin \psi$$

откуда.

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = \frac{c}{\sin \beta} \cdot \frac{a}{\sin \alpha}.$$

Положивъ:

$$\frac{c}{\sin \beta} \cdot \frac{a}{\sin \alpha} = \operatorname{cotg} \mu \quad \ldots\ldots\ldots \text{(V)}$$

и взявъ производную пропорцію, найдемъ

$$\frac{\sin \varphi - \sin \psi}{\sin \varphi + \sin \psi} = \frac{1 - \operatorname{tg} \mu}{1 + \operatorname{tg} \mu}.$$

или

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi + \psi}{2} = \operatorname{tg} m \frac{\sin (45^0 - \mu)}{\sin (45^0 + \mu)} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(VI)}$$

Опредѣливъ отсюда $\frac{\varphi - \psi}{2} = n$, найдемъ $\varphi = m + n$ и $\varphi = m - n$ съ повѣркой $\varphi + \psi + \alpha + \beta + \gamma = 360^0$.

Зная φ и ψ, легко по формуламъ

$$S_A = \frac{a}{\sin \alpha} \sin (a + \varphi)$$

и

$$S_C = \frac{c}{\sin \beta} \sin (\beta + \psi) \quad \ldots\ldots\ldots \text{(VII)}$$

найти стороны S_A и S_C, подставивъ которыя въ уравненія (I), легко найти приращенія координатъ точки D относительно точекъ A и C и по формуламъ (II) самыя координаты этой точки.

Необходимые для такого опредѣленія азимуты A и C линій AB и CB и длина этихъ линій находятся изъ данныхъ координатъ точекъ по формуламъ

$$\operatorname{tg} A = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \operatorname{tg} C = \frac{y_B - y_C}{x_B - x_C} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(VIII)}$$

и

$$c = \frac{y_B - y_A}{\sin A} = \frac{x_B - x_A}{\cos A}; \quad a = \frac{y_B - y_C}{\sin C} = \frac{x_B - x_C}{\cos C}. \quad \text{(IX)}$$

гдѣ квадрантъ, въ которомъ находятся азимуты A и C, опредѣляется знакомъ числителя и знаменателя дроби въ уравненіяхъ (VIII); знаки же c и a въ послѣднемъ уравненіи всегда положительные, ибо знакъ знаменателя во всѣхъ дробяхъ одинаковъ съ знакомъ числителя.

Для рѣшенія весьма удобна схема прилагаемаго формуляра (см таб. 3).

Составивъ чертежъ, соотвѣтствующій данному расположенію точекъ и выписавъ координаты точекъ, находятъ разности $y_B - y_A$, $x_B - x_A$, $y_B - y_C$, $x_B - x_C$ и для контроля $y_A - y_C$ и $x_A - x_C$.

Рѣшенія начинаютъ съ опредѣленія по формуламъ (VIII) и (IX) угловъ A и C и $\lg$ сторонъ c и a (см. отд. 1 и 2 формуляра).

Найденныя значенія азимутовъ A и C (принимая въ расчетъ квадранты, въ которыхъ они находятся) выписываютъ въ отд. 3 формуляра, гдѣ находятъ уголъ γ, сумму угловъ $\alpha + \beta + \gamma$ и полусумму угловъ

$$\frac{\varphi + \psi}{2} = 180^0 - \frac{\alpha + \beta + \gamma}{2} \text{ (отд. 4).}$$

Далѣе слѣдуетъ опредѣленіе $\operatorname{cotg} \mu$ по формулѣ (V), при чемъ $\lg \frac{a}{\sin \beta}$ и $\lg \frac{c}{\sin \alpha}$ вычисляются отдѣльно (см. отд. 5).

Найденное значеніе угла μ служитъ для вычисленія угловъ $45^0 - \mu$ и $45^0 + \mu$ (см. отд. 6) и опредѣленія $\lg \operatorname{tg} \frac{\varphi - \psi}{2}$ по формулѣ (V) (см. отд. 7).

По найденному значенію угловъ $\frac{\varphi - \psi}{2}$ и $\frac{\varphi + \psi}{2}$ отыскиваютъ самые углы φ и ψ, а по этимъ послѣднимъ углы $\alpha + \varphi$ и $\beta + \psi$ (см. отд. 8 и 9) съ повѣркою на 360^0.

Зная углы $\alpha + \varphi$ и $\beta + \psi$ и имѣя въ отдѣленіи 5 готовыми $\lg \frac{a}{\sin \alpha}$ и $\lg \frac{c}{\sin \alpha}$, находятъ по формуламъ (VII) $\lg S_A$ и $\lg S_C$ (см. отд. 10 и 11).

Далѣе опредѣляютъ углы $A + \varphi$ и $C + \psi$ (см. отд. 12), а по этимъ послѣднимъ и извѣстнымъ уже $\lg S_A$ и $\lg S_C$ находятъ по формуламъ (I) и (II) приращенія координатъ и координаты X_D и Y_D точки D, сначала исходя изъ координатъ X_A и Y_A точки A, а затѣмъ координатъ X_C и Y_C точки C (см. отд. 13 и 14 формуляра).

Совпаденіе двухъ опредѣленій координатъ точки D служитъ надежнымъ контролемъ правильности всего вычисленія.

Къ сказанному слѣдуетъ прибавить:

a) Что во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда $A + \varphi$, $C - \psi$ и γ получаются отрицательными или $> 360^0$, слѣдуетъ прибавить или вычесть 360^0, чтобы уголъ получился > 0 и $< 360^0$.

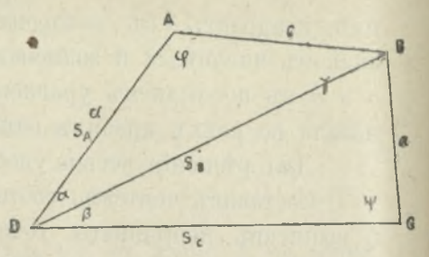
b) Что отрицательный знакъ второй части въ формулѣ (VI) покажетъ, что уголъ $\varphi - \psi$ — отрицателенъ и что, слѣдовательно, $\varphi < \psi$ и

c) Что передъ вычисленіемъ полезно, рѣшивъ задачу графически,

ФОРМУЛЯРЪ

для рѣшенія задачи

ПОТЕНОТА.



Д А Н О						
B. Акад. наукъ.	y_B	±	0	x_B	—	0
A. Англ. соборъ.	y_A	—	554,198	x_A	—	88,003
C. Флагъ Адм.	y_C	—	1,174	x_C	—	207,329
	$y_B - y_A$	+	554,198	$x_B - x_A$	+	88,003
	$y_B - y_C$	+	1,174	$x_B - x_C$	+	207,329
	$y_A - y_C$	—	553,024	$x_A - x_C$	+	119,326

П О В Ѣ Р К А

$(y_B - y_C) - (y_B - y_A) = y_A - y_C$ 1,174 − 554,198 = −553,024

$(x_B - x_C) - (x_B - x_A) = x_A - x_C$ 207,329 − 88,003 = −119,326

1. Опредѣленіе tg *A* и стороны *C*

$$\operatorname{tg} A = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A};\quad c = \frac{y_B - y_A}{\operatorname{Sin} A} = \frac{x_B - x_A}{\operatorname{Cos} A}$$

$lg\,(y_B - y_A)$		2,743 6651
$lg\,(x_B - x_A)$		*1,944 4975*
lg tg A		0,799 1676
lg sin A		9,994 5925
lg cos A		*9,195 4211*
$lg\,C$		2,749 0745

2. Опредѣленіе tg *C* и стороны A

$$\operatorname{tg} C = \frac{y_B - y_C}{x_B - x_C};\quad a = \frac{y_B - y_C}{\operatorname{Sin} C} = \frac{x_B - x_C}{\operatorname{Cos} C}$$

$lg\,(y_B - y_C)$		0,069 6681
$lg\,(x_B - x_C)$		*2,316 6600*
lg tg C		7,753 0081
lg sin C		7,753 0154
lg cos C		*9,999 9930*
$lg\,a$		2,316 6598

5. Опредѣленіе cotg μ

$$\operatorname{cotg}\mu = \frac{a}{\sin\beta} : \frac{c}{\sin\alpha}$$

$lg\,a$		2,316 6598
lg sin β		*9,217 5337*
$lg\,\frac{a}{\sin\beta}$		3,099 1261
$lg\,c$		2,749 0745
lg sin α		*9,538 1943*
$lg\,\frac{c}{\sin\alpha}$		3,210 8802
lg cotg μ		9,888 2459

7. Опредѣленіе $\frac{\varphi - \psi}{2}$

$$\operatorname{tg}\frac{\varphi - \psi}{2} = \operatorname{tg}\frac{\varphi + \psi}{2}\,\frac{\sin 45 - n}{\sin 45 + n}$$

lg tg $\frac{\varphi + \psi}{2}$		0,157 6086
lg sin(45 − μ)		9,103 5312
lg sin(45 + μ)		*9,996 4735*
lg tg $\frac{\varphi - \psi}{2}$		9,422 7019

10. Опредѣленіе S_A

$$S_A = \frac{c}{\sin\alpha}\ \sin(\varphi + \alpha)$$

$lg\,\frac{c}{\sin\alpha}$		3,210 8802
lg sin $(\varphi+\alpha)$		*9,618 6129*
$lg\,S_A$		2,829 4931

11. Опредѣленіе *Sc*

$$Sc = \frac{a}{\sin\beta}\ \sin(\psi + \beta)$$

$lg\,\frac{a}{\sin\beta}$		3,099 1261
lg sin $(\psi+\beta)$		*9,919 0817*
$lg\,Sc$		3,018 2078

13. Опредѣленіе X_D и y_D по X_A и y_A

$$X_D = X_A + (X_D - X\alpha) = X_A + S_A\cos(A+\varphi)$$
$$y_D = y_A + (y_D - y_A) = y_A + S^A\sin(A+\varphi)$$

$lg\,S_A$	±	2,829 4931
lg cos $(A+\varphi)$		*9,906 7196*
$lg\,(X_D - X_A)$		2,736 2127
$X_D - X_A$	—	544,769
X_A	—	*88,003*
X_D	—	632,772
$lg\,S_A$		2,829 4931
lg sin $(A+\varphi)$		*9,771 5449*
$lg\,(y_D - y_A)$		2,601 0380
$y_D - y_A$	—	399,060
y_A	—	*554,198*
y_D	—	953,258

14. Опредѣленіе X_D и y_D по X_C и y_C

$$X_D = X_C + (X_D - X_C) = X_C + Sc\cos(C+\psi)$$
$$y_D = y_C + (y_D - y_C) = y_C + S^C\sin(C+\psi)$$

$lg\,Sc$	±	3,018 2078
lg cos $(C+\psi)$		*9,610 6350*
$lg\,(X_D - X_C)$		2,628 8428
$X_D - X_C$	—	425,444
X_C	—	207,329
X_D	—	632,772
$lg - S_C$		3,018 2078
lg sin $(C+\psi)$		*9,960 4672*
$lg\,(y_D - y_C)$		2,978 6750
$y_D - y_C$	—	952,084
y_C	±	1,174
y_D	—	953,258

3. Опред. $\gamma+\alpha+\beta$ $\gamma = A - C$

	°	′	″
A	80	58	38
C	0	19	28
γ	80	39	10
α	20	12	—
β	9	29	54
$\gamma+\alpha+\beta$	110	21	04

4. Опредѣленіе $\frac{\varphi + \psi}{2}$

$$\frac{\varphi + \psi}{2} = \frac{360^0 - (\alpha+\beta+\gamma)}{2}$$

$\frac{\varphi + \psi}{2}$	124	49	28

6 Опред. 45+μ и 45−μ

μ	52	17	30
45−μ	7	17	30
45+μ	97	17	30

8. Опредѣленіе φ и ψ

$\frac{\varphi + \psi}{2}$	124	49	28
$\frac{\varphi - \psi}{2}$	10	25	20
φ	135	14	48
ψ	114	24	8

9. Опредѣл. α+φ; β+ψ и повѣрка

$\alpha + \varphi$	155	26	48
$\beta + \psi$	123	54	2
γ	80	39	10
	360	0	0

12. Опред. A+φ и C−ψ

$A + \varphi$	216	13	26
$C + \psi$	245	55	20

сдѣлать на клѣтчатой бумагѣ чертежи расположенія точекъ съ цѣлью постепенной повѣрки сравненіемъ съ нимъ полученныхъ вычисленіемъ угловъ и линій.

Уравновѣшеніе координатъ искомой точки. Рекомендуемый Anweisung IX способъ уравновѣшенія координатъ отдѣльныхъ точекъ по существу одинаковъ со способомъ Гауса и заключается въ слѣдующемъ:

Сначала по извѣстнымъ координатамъ данныхъ точекъ и вычисленнымъ приближеннымъ координатамъ $X_0 = -632{,}772$ с. и $Y_0 = -953{,}258$ с. искомой точки, находятъ (см. от. 1, гр. 1—6 прилагаемаго формуляра) [1]) соотвѣтствующіе этимъ послѣднимъ азимуты направленій съ искомой точки на данныя по формуламъ

$$\operatorname{tg}\alpha_n = \frac{Y_n - Y_0}{X_n - X_0} = \frac{\Delta Y_n}{\Delta X_n}$$

или

$$\lg\operatorname{tg}\alpha_n = \lg\Delta X_n - \lg\Delta X_n$$

и для контроля

$$\operatorname{tg}\left[\frac{\pi}{4} + \alpha_n\right] = \frac{\Delta Y_n + \Delta X_n}{\Delta Y_n - \Delta X_n}$$

или

$$\lg\operatorname{tg}\left[\frac{\pi}{4} + \alpha_n\right] = \lg(\Delta Y_n + \Delta X_n) - \lg(\Delta Y_n - \Delta X_n).$$

Вычитаніемъ азимута на первую точку изъ азимутовъ направленій на всѣ послѣдующія точки получаютъ соотвѣтствующіе приближеннымъ координатамъ углы w между первымъ лучемъ и всѣми остальными $w_1 = 0$; $w_2 = \alpha_2 - \alpha_1$; $w_n = \alpha_n - \alpha_1$ (см. отд. II, гр. 6) и разности f между ними и данными непосредственнаго наблюденія: $f_1 = 0$; $f_2 = w_2 - \beta_2$; $f_3 = w_3 - \beta_3 \ldots f_n = w_n - \beta_n$ (I) (см. гр. 5 и 1-ую колонна 7-й графы отд. II), гдѣ w_1 и f_1 равны 0, ибо всѣ измѣренія и вычисленія отнесены къ направленію на Андреевскій соборъ, какъ начальному.

Отклоненія f полученныхъ угловъ отъ данныхъ непосредственнаго измѣренія являются функціей координатъ искомой точки.

Задача уравновѣшенія заключается въ отысканіи координатъ, наилучше удовлетворяющихъ даннымъ непосредственнаго измѣренія.

Въ теоріи вѣроятностей доказывается, что вѣроятнѣйшимъ значеніемъ координатъ являются такія значенія этихъ послѣднихъ, для которыхъ сумма квадратовъ отклоненій азимутовъ отъ данныхъ непосредственнаго наблюденія, пониженныхъ каждое на вѣсъ соотвѣтствующаго наблюденія, будетъ наименьшею, т. е.:

$$p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 \ldots p_n v_n^2 = [pvv] \text{ д. б. minimum (II).}$$

---

[1]) См. таблицы 4[a], 4[b], 4[c], 4[d], 4[e].

Обозначивъ черезъ X и Y вѣроятнѣйшія значенія координатъ искомой точки, черезъ $A_1, A_2, \ldots A_n$ соотвѣтствующіе этимъ значеніямъ азимуты направленій съ искомой точки на данныя и черезъ $v_1, v_2, \ldots v_n$ величины отклоненій, получимъ слѣдующія уравненія погрѣшностей:

$$\left.\begin{aligned} A_1 - A_1' &= v_1 \\ A_2 - (A_1' + \beta_2) &= v_2 \\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot & \\ A_n - (A_1' + \beta_n) &= v_n \end{aligned}\right| \quad \ldots\ldots\ldots \text{(III)}$$

гдѣ v_1 — отклоненіе соотвѣтствующаго вѣроятнѣйшимъ значеніямъ координатъ искомой точки азимута направленія на Андреевскій соборъ, отъ неизвѣстнаго намъ азимута того же направленія, полученнаго изъ данныхъ непосредственнаго измѣренія.

Какъ видно изъ предыдущаго, отклоненія, v—являются функціею координатъ X и Y искомой точки и азимута A_1' направленія на первую точку.

Подставивъ значеніе v въ уравненіе (II), мы выразимъ его въ видѣ функціи тѣхъ же величинъ. Приравнявъ частныя производныя этой функціи по опредѣленнымъ величинамъ къ 0, мы получимъ *нормальныя* уравненія, рѣшеніемъ которыхъ опредѣлятся искомыя координаты X и Y нашей точки.

Въ нашемъ случаѣ нормальныя уравненія получаются уравненіями трансцедентными, относительно координатъ X и Y искомой точки.

Представляется поэтому необходимымъ замѣнить неизвѣстныя X и Y въ уравненіяхъ погрѣшностей другими неизвѣстными, по отношенію къ которымъ данныя уравненія будутъ линейны. Тогда уравненіе (II) представится функціей второй степени отъ этихъ величинъ, частныя производныя которой—нормальныя уравненія будутъ линейны и, слѣдовательно, легко рѣшаемы.

Для такой замѣны мы воспользуемся найденными приближенными значеніями координатъ искомой точки, положивъ вѣроятнѣйшія ихъ значенія равными $X = X_0 + \delta x$ и $Y = Y_0 + \delta y$, гдѣ X_0 и Y_0 должны быть найдены настолько точно, чтобы квадратами поправокъ δx и δy можно было пренебречь безъ ущерба точности нашихъ вычисленій.

Соотвѣтствующія поправки въ азимутахъ α_1, α_2, α_3 получатся тогда въ зависимости отъ поправокъ въ координатахъ изъ слѣдующихъ уравненій:

$$A = f(X, Y) = f(X_0, Y_0) + \frac{df}{dx}\delta x + \frac{df}{dy}\delta y = \alpha + \frac{df}{dx}\delta x + \frac{df}{dy}\delta y$$

или

$$A - \alpha = \delta\alpha = a\delta x + b\delta y.$$

Подставивъ найденныя выраженія для поправокъ въ азимутахъ въ уравненія погрѣшностей и принявъ въ расчетъ уравненія (I), найдемъ:

$$\left.\begin{aligned} a_1\,\delta x + b_1\delta y + \delta\alpha_1 + f_1 &= v_1 \\ a_2\,\delta x + b_2\delta y + \delta\alpha_1 + f_2 &= v_2 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_n\,\delta x + b_n\delta y + \delta\alpha_1 + f_n &= v_n \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{III}$$

гдѣ $\delta\alpha_1 = A_1 - A_1'$ — неизвѣстная намъ погрѣшность измѣренія азимута 1-го направленія (на Андреевскій соборъ).

Коэффиціенты a и b представляютъ собою частныя производныя $f(X, Y)$, по X и Y, и въ нашемъ случаѣ равны:

$$a_n = d\,\frac{\left(\operatorname{Arctg}\dfrac{Y_n - Y}{X_n - X}\right)}{dx} = \frac{1}{1 + \dfrac{(Y_n - Y)^2}{(X_n - X)^2}} \times \frac{Y_n - Y}{(X_n - X)^2} = \frac{Y_n - Y}{S_n^2}, \quad \text{II}$$

$$b_n = d\,\frac{\left(\operatorname{Arctg}\dfrac{Y_n - Y}{X_n - X}\right)}{dy} = \frac{1}{1 + \dfrac{(Y_n - Y)^2}{(X_n - X)^2}} \times -\frac{1}{X_n - X} = -\frac{X_n - X}{S_n^2},$$

гдѣ S_n—разстояніе отъ искомой точки, по данной при вычисленіи котораго, а равно и при вычисленіи $Y_n - Y$, $X_n - X$ берутся приблизительныя значенія координатъ искомой точки.

Въ нашемъ примѣрѣ коэффиціэнты a и b вычислены другимъ путемъ, а именно:

изъ уровненія $\alpha_n = \dfrac{Y_n - Y_0}{X_n - X_0}$ находятъ $\lg \operatorname{tg} \alpha_n = \lg\,(Y_n - Y_0) - \lg\,(X_n - X_0)$,

и дифференцируя $d \lg \operatorname{tg} \alpha_n = d lg\,(Y_n - Y_0) - d lg\,(X_n - X_0)$, или обозначая табличную разность для $\lg \operatorname{tg} \alpha_n$, $\lg\,(Y_n - Y_0)$ и $lg\,(X_n - X_0)$ черезъ $\Delta \lg \operatorname{tg} \alpha_n$, $\Delta \lg\,(Y_n - Y_0)$ и $\Delta \lg\,(X_n - X)$, черезъ δx, δy искомыя поправки въ X_0, Y_0 и черезъ $\delta\alpha_n$ соотвѣтствующую имъ поправку азимута α_n найдемъ

$$\Delta \lg \operatorname{tg}\alpha_n\, \delta\alpha_n = \Delta \lg\,(X_n - X_0)\,\delta x - \Delta \lg\,(Y_n - Y_0)\,\delta y$$

или

$$\delta\alpha_n = \frac{\Delta \lg\,(X_n - X_0)}{\Delta \lg \operatorname{tg} \alpha}\,\delta x - \frac{\Delta \lg\,(Y_n - Y_0)}{\Delta \lg \operatorname{tg} \alpha_n}\,\delta y = a_n\,\delta x + b_n\,\delta y,$$

откуда

$$a_n = \frac{\Delta \lg\,(X_n - X_0)}{\Delta \lg \operatorname{tg} \alpha_n} \text{ и } b_n = -\frac{\Delta \lg\,(Y_n - Y_0)}{\Delta \lg \operatorname{tg} \alpha_n}.$$

По этимъ формуламъ вычислены коэффиціэнты a и b всѣхъ уравненій погрѣшностей въ гр. 7 и 8 отд. I и перенесены въ первыя колонны графъ 2 и 3 отд. II.

Во всѣ полученныя уравненія погрѣшностей входитъ неизвѣстная ошибка $\delta\alpha_1$ оріентировки 1-го луча. Чтобы избавиться отъ этого члена, мы воспользуемся извѣстнымъ свойствомъ, что значенія неизвѣстныхъ, удовлетворяющія системѣ уравненій

Таблица 4а. **Формуляръ для уравновѣшенія координатъ точки, полученной обратной засѣчкой (з. Потенота).**
Отдѣлъ I вычисленіе азимутовъ изъ приближенныхъ координатъ.

1	2	3		4		5	6	7		8	
Pn		Yn Yo $\triangle Y = Yn - Yo$ $\triangle X + \triangle Y$		Xn Xo $\triangle X = Xn - Xo$ $\triangle X - \triangle Y$		$lg\ (\triangle X + \triangle Y)$ $lg\ (\triangle X - \triangle Y)$ $lg tg\left(\frac{\pi}{4}+\alpha\right)$ $\frac{\pi}{4}+\alpha$	$lg\ \triangle\ Y$ $lg\ \triangle\ X$ $lg\ tg\ \alpha$ α	$\triangle\ lg\ \triangle\ Y$ $\triangle\ lg\ \triangle\ X$ $\triangle\ lg\ tg\ \alpha$		$b = \frac{\triangle\ lg\ \triangle Y}{\triangle\ lg\ tg\ \alpha}$ $a = \frac{\triangle\ lg\ \triangle X}{\triangle\ lg\ tg\ \alpha}$	
		—	554,198	—	88,003	2,9748933	2,6010382	—	10896		
		—	953,258	—	632,772	2,1634864	2,7362124	—	7965	—	247.6
		+	399,060	+	544,769	0,8114067	9,8648258				
1. Андр. соб. . .		+	943,829	+	145,709	81 | 13 | 26	36 | 13 | 26	—	44	+	181
		+	302,934	+	418,366	3,3687200	3,0990560	—	3456		
		—	953,258	—	632,772	2,2431720	3,0338811	—	4015		80,4
		+	1256,192	+	1081,138	1,1255480	0,0651749				
2. Петр. соб. . .		+	2337,330	—	175,054	94 | 16 | 59	49 | 16 | 59	—	43	+	93,4
		—	371,538	—	214,805	2,9998640	2,7647140	—	7459		
			953,258	—	632,772	2,2141893	2,6211420	—	10379	—	169,5
		+	581,720	+	417,967	0,7856747	0,1435720				
3. Ак. Худ. . . .		+	999,687	—	163,753	99 | 18 | 10	54 | 18 | 10	—	44	+	235,9
			0		0	3,2003114	2,9792104	—	4555		
		—	953,258	—	632,772	2,5058091	2,8012473	—	6858	—	99
		+	953,258	+	632,774	0,6945023	0,1779631				
4. Ак. Наукъ . .		+	1586,030	—	320,486	101 | 25 | 26	56 | 25 | 26	—	46	+	149,1
		—	1,174	—	207,329	3,1391001	2,9786752	—	4559		
		—	953,258	—	632,772	2,7215146	2,6288414	—	10197	—	80
		+	952,048	+	425,443	0,4175855	0,3498338				
5. Флаг. Адм. . .		+	1377,527	—	526,641	110 | 55 | 20	65 | 55 | 20	—	57	+	178,9
		+	107,015	—	271,742	3,1706438	3,0254177	—	4094		
		—	953,258	—	632,772	2,8056659	2,6243130	—	10303	—	67,1
*		+	1060,273	+	421,030	0,3649779	0,4011047				
6. Шп. Адм. . . .		+	1481,303	—	639,243	113 | 20 | 32	68 | 20 | 32	—	61	+	168,9

Таблица 4b. **Отдѣлъ II. Образованіе коэф.** a, b **и отклоненій** f **въ уравн. погрѣшности.**

1	2				3				4	5			6			7			
Pn	a				b					βn			$w=\alpha-\alpha_1$			$f=w-\beta$			
										o	$'$	$''$							
Андр. соб. . .	—	247,6	—	123,6	+	181	+	13,1	βn—въ гр. 5-й	0	0	0	0	0	0	—	0	—	9
Петроп. соб. .	—	80,4	+	43,5	+	93,4	—	74,5	взяты изъ	13	3	29	13	3	33	+	4	—	5
Акад. Худ. .	—	169,5	—	45,7	+	235,9	+	68		18	4	36	18	4	44	+	8	—	1
Акад. Наукъ .	—	99	+	24,9	+	149,1	—	18,7	данныхъ	20	12	0	20	12	—	+	0	—	9
Флагъ Адм. .	—	80	+	44	+	178,9	+	11	измѣрен.	29	41	54	29	41	54	—	0	—	9
Шпиль Адм.	—	67,1	+	56,9	+	168,9	+	1,1	См. форм. I.	32	6	23	32	7	6	+	43	+	33
	—	743,6	—	169,3	+	1007,2	+	93,2								+	55	+	33
	—	123,9	+	169,3	+	167,9	—	93,2								+	9	—	33

$$a_1 x + b_1 y + c_1 = O$$
$$a_2 x + b_2 y + c_2 = O$$
$$a_n x + b_n y + c_n = O$$

удовлетворяютъ также системѣ уравненія

$$\frac{1}{n}\left\{ [a] x + [b] y + [c] \right\} - (a_1 x + b_1 y + c_1) = O$$

Сложивъ данныя уравненія, раздѣливъ на число ихъ и вычтя полученное уравненіе изъ каждаго даннаго, получимъ слѣдующую систему уравненій, удовлетворяющихся прежними значеніями неизвѣстныхъ:

$$\left.\begin{array}{l} \left(a_1 - \frac{[a]}{n}\right)\delta x + \left(b_1 - \frac{[b]}{n}\right)\delta y + \left(f_1 - \frac{[f]}{n}\right) = v_1 - \frac{[v]}{n} \\ \left(a_2 - \frac{[a]}{n}\right)\delta x + \left(b_2 - \frac{[b]}{n}\right)\delta y + \left(f_2 - \frac{[f]}{n}\right) = v_2 - \frac{[v]}{n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \left(a_n - \frac{[a]}{n}\right)\delta x + \left(b_2 - \frac{[b]}{n}\right)\delta y + \left(f_n + \frac{[f]}{n}\right) = v_n - \frac{[v]}{n} \end{array}\right\} \quad \text{III''}$$

Значенія коэффиціэнтовъ этихъ новыхъ уравненій даны во вторыхъ столбцахъ графъ 2, 3 и 5 отд. II, при чемъ сумма этихъ коэффиціэнтовъ, какъ это ясно изъ самаго способа ихъ полученія, равна O (см. повѣрка на равенство суммы положительныхъ и отрицательныхъ коэффиціентовъ).

Удержавъ для коэффиціентовъ полученныхъ нами приведенныхъ уравненій погрѣшностей прежнія обозначенія и подставивъ значеніе v въ уравненіе II, выразимъ его слѣдующимъ образомъ:

$$(p_1 a_1^2 + p_2^2 a_2^2 + \ldots p_n a_n^2)\ (\delta x)^2 + 2\ (p_1 a_1 b_1 + p_2 a_2 b_2 + \ldots p_n a_n b_n)\ \delta x\ \delta y +$$
$$+ 2\ (p_1 a_1 f_1 + p_2 a_2 f_2 + \ldots p_n a_n f_n)\ \delta x + (p_1 b_1^2 + p_2 b_2^2 + \ldots p_n b_n^2)\ \delta y^2 +$$
$$+ 2\ (p_1 b_1 f_1 + p_2 b_2 f_2 + \ldots p_n b_n f_n)\ \delta x + (p_1 f_1^2 + p_2 f_2^2 + \ldots + p_n f_n^2)$$
д. б. minimum,

или сокращенно

$$[a'a']\ (\delta x)^2 + 2\ [a'b']\ \delta x \delta y + 2\ [a'f']\ \delta x + [b'b']\ (\delta y)^2 + 2\ [b'f']\ \delta y + [f'f']$$ д. б.

minimum, гдѣ: $a' = \sqrt{p}\ a$; $b' = \sqrt{p}\ b$; $f' = \sqrt{p}\ f =$ и p—вѣсъ измѣреній, соотвѣствующихъ отклоненіямъ v.

Въ нашемъ случаѣ всѣ углы измѣрены одинаково точно, почему мы можемъ положить вѣса p равными между собой и равными 1. Тогда коэффиціенты a', b', f' соотвѣтственно равны коэффиціентамъ a, b и f, которые и перенесены въ гр. 3—5 отд. III безъ измѣненій.

Взявъ частныя производныя предыдущаго выраженія по δx и δy и приравнявъ ихъ нулю, получимъ два слѣдующихъ нормальныхъ уравненія

$$[paa]\ \delta x + [pab]\ \delta y + [paf] = O$$
$$[pab]\ \delta x + [pbb]\ \delta y + [pbf] = O$$

или

$$A_1\,\delta x + B_1\,\delta y + F_1 = 0$$
$$B_1\,\delta x + B_2\,\delta y + F_2 = 0$$

линейныя относительно неизвѣстныхъ, а потому легко рѣшаемыя.

Коэффиціенты нормальныхъ уравненій вычислены въ гр. 6—10 отд. III, гдѣ получились:

$$A_1 = [paa] = 25050{,}9;\ B_1 = [pab] = 7886;\ F_1 = [af] = +2199{,}2;\ B_2\ [pbb] = 10828{,}6 \text{ и } F_2 = [pbf] = 292{,}2$$

Для рѣшенія нормальныхъ уравненій помножимъ первое на $-\frac{B_1}{A_1}$ и складываемъ со вторымъ, тогда получимъ:

$$\left(B_2 - \frac{B_1}{A_1}B_1\right)\delta y + F_2 - \frac{B_1}{A_1}F_1 = 0$$

или:

$$\mathfrak{B}_2\,\delta y + \mathfrak{F}_2 = 0\ ;\ \text{откуда: } \delta y = -\frac{\mathfrak{F}_2}{\mathfrak{B}_2}$$

$$\delta x = -\frac{F_1}{A_1} - \frac{B_2}{A_1}\delta y.\ \text{(см. 11, 12, 13 и 14 отд. III).}$$

Контролемъ правильности рѣшенія служитъ равенство:

$$-\frac{F_1}{A_1}F_1 - \frac{\mathfrak{F}_2}{\mathfrak{B}_2}F_2 = F_1\,\delta x + F_2\,\delta x\ (\Sigma = \Sigma \text{ см. гр. 15}).$$

Зная δx и δy, находятъ (см. гр. 16, отд. 3) окончательныя координаты $X = X_0 + \delta x$ и $Y = Y_0 + \delta x$ искомой точки и по этимъ послѣднимъ окончательные азимуты направленій съ искомой точки на данныя. Вычисленія ведутся по формуламъ $\operatorname{tg} A_n = \frac{Y_n - Y}{X_n - X}$ или $\lg \operatorname{tg} A_n = \lg(Y_n - Y) - \lg(X_n - X)$ и приведены въ отд. V формуляра.

Зная эти азимуты, легко вычисляются углы $W_n = A_n - A_1$ между направленіемъ на первую точку и на каждую изъ остальныхъ (см. отд. IV 5 формуляра), сравненіе которыхъ съ данными непосредственнаго наблюденія дадутъ намъ величину соотвѣтствующихъ отклоненій $v_n = W_n - \beta_n$ (см. 1 столбецъ, гр. 6), а $v - \frac{[v]}{n}$ (2 столбецъ той же графы) дастъ намъ правыя части уравненій III″.

Та-же величина $v - \frac{[v]}{n}$ вычисляется изъ приведенныхъ уравненій равною

$$\left(a - \frac{[a]}{n}\right)\delta x + \left(b - \frac{[b]}{n}\right)\delta y + \left(f - \frac{[f]}{n}\right) = v - \frac{[v]}{n},\ \text{гдѣ } \delta x,\ \delta y$$

и коэффиціенты $a - \frac{[a]}{n}$, $b - \frac{[b]}{n}$ и $f - \frac{[f]}{n}$ — извѣстны, слѣдовательно, мы имѣемъ контроль правильности всего вычисленія (см. гр. 2, 3 и 6, отд. IV).

Опредѣливъ далѣе сумму квадратовъ отклоненій $[p.vv]$, находимъ среднюю ошибку опредѣленія каждаго направленія равной

$$m = \pm\sqrt{\frac{[p\,v\,v]}{n-3}} \pm = \sqrt{\frac{1048,7}{6-3}} = \pm 18,''7$$

(см. гр. 7), гдѣ n — число уравненій погрѣшностей, равное 6, а 3 — число направленій, необходимыхъ для простого безъ уравновѣшенія опредѣленія координатъ точки.

Наконецъ, зная величину средней ошибки одного направленія, опредѣляютъ (см. отд. III, гр. 17) среднія ошибки ординатъ

$$My = \mp \frac{m}{\sqrt{B_2}} = 0,245 \text{ саж.}$$

$$Mx = \pm My\sqrt{\frac{B_2}{A_1}} = \pm 0,135 \text{ саж.}$$

Разсматривая нашу точку за точку IV порядка, мы находимъ, что средняя ошибка одного направленія получилась хотя и въ предѣлахъ допускаемыхъ нормъ погрѣшностей (предѣльная ошибка равна 25″ по даннымъ Anweisung IX), но нѣсколько больше средней ошибки, на которую разсчитаны эти нормы. Столь значительная величина ошибки получилась, частью, вслѣдствіе значительной погрѣшности въ опредѣленіи координатъ точекъ основной тріангуляціи, гдѣ разность между отдѣльными опредѣленіями доходитъ для нѣкоторыхъ точекъ до ± 0,3— 0,5 саж.

Было бы поэтому болѣе правильнымъ принимать во вниманіе относительную точность опредѣленія данныхъ точекъ, но такой пріемъ значительно усложнилъ бы наши вычисленія, и безъ того слишкомъ продолжительныя, почему мы и удовольствуемся приведенными данными.

Замѣтимъ здѣсь, что возможность надежнаго опредѣленія ошибокъ m, Mx и My составляетъ одно изъ главныхъ преимуществъ уравновѣшенія способомъ наименьшихъ квадратовъ. Нельзя поэтому ни въ коемъ случаѣ согласиться съ принятымъ многими германскими маркшейдерами сокращеніемъ работы по уравновѣшенію за счетъ полнаго игнорированія вычисленій указанныхъ среднихъ ошибокъ m, Mx, My, величина которыхъ даетъ надежное мѣрило точности всей работы.

Описанный способъ уравновѣшенія погрѣшностей называется способомъ уравновѣшенія посредственныхъ наблюденій, ибо здѣсь погрѣшности измѣренія угловъ разсматриваются какъ функціи погрѣшностей опредѣленія координатъ искомой точки.

Для практическихъ цѣлей было бы достаточно примѣнить графическій способъ уравновѣшенія, подробно изложенный въ ст. Померанцева: „Графическій пріемъ опредѣленія двухъ неизвѣстныхъ по способу наименьшихъ квадратовъ (см. зап. военно-топографическаго отдѣла Главнаго

Таблица 4с. **Отдѣлъ III. Образованіе коэф. нормальныхъ уравненій и ихъ рѣшеніе.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pn	*p*	$a\sqrt{p}$	$b\sqrt{p}$	$f\sqrt{p}$	*paa*	*pab*	*paf*	*pbb*	*pbf*
Андр. соб . . .	1	— 123,6	+ 13,1	— 9	15277	— 1619,2	+ 1112,4	171,6	— 117,9
Петроп. соб. .	1	+ 43,5	— 74,5	— 5	1892,2	— 3240,8	— 217,5	5550,2	+ 372,5
Ак. Худ. . . .	1	— 45,7	+ 68	— 1	2088,5	— 3107,6	+ 45,7	4624	— 68
Ак. Наукъ. . .	1	+ 24,9	— 18,7	— 9	619,6	— 465,6	— 224,1	349,7	+ 168,3
Флаг. Адм. . .	1	+ 44	+ 11	— 9	1936	+ 484	— 396	121	- 99
Шпиль Адм. .	1	+ 56,9	+ 1,1	+ 33	3237,6	+ 62,6	+ 1877,7	12,1	+ 36,3
						+ 546,6	+ 3035,8		+ 577,1
						— 8433,2	— 837,6		— 284,9
					25050,9	— 7886,6	+ 2198,2	10828,6	+ 292,2
					=	=	=		
					A_1	B_1	F_1	B_2	F_2

11	12	13	14	15
B_1 — 7886,6	F_1 + 2198,2	B_2 + 10828,6	F_2 + 292,2	$\frac{-\mathfrak{F}_1}{A_1}\mathfrak{F}_1$ — 193,4 $\quad \mathfrak{F}_1\delta x$ — 274,8
$\frac{-B_1}{A_1}$ + 0,315	$\frac{-F_1}{A_1}$ — 0,088	$\frac{-B_1}{A_1}B_1$ — 2484,3	$\frac{-B_1}{A_1}F_1$ + 692,4	
$\frac{B_2}{A_1}$ + 0,432	$\frac{-B_1}{A_1}\delta y$ — 0,037	$\mathfrak{B}_2$ + 8344,3	$\mathfrak{F}_2$ + 984,6	$\frac{-\mathfrak{F}_2}{\mathfrak{B}_2}\mathfrak{F}_2$ — 116,2 $\quad \mathfrak{F}_2\delta y$ — 34,5
	δx — 0.125	$\delta y =$	$\frac{-\mathfrak{F}_2}{\mathfrak{B}_2}$ — 0,118	Σ — 309,6 $\quad \Sigma$ — 309,3

16	17
$Y = Y_0 + \delta y = -953{,}258 - 0{,}118 = -953{,}376$	$My = \pm\sqrt{\frac{m^2}{\mathfrak{B}_2}} = \pm\sqrt{\frac{349{,}6}{83443}} =$ $= \pm\sqrt{0{,}041897} = \pm 0{,}205$
$X = X_0 + \delta x = -632{,}772 - 0{,}125 = -632{,}897$	$Mx = \pm My\sqrt{\frac{B_2}{A_1}} = \pm 0{,}205\sqrt{0{,}432} =$ $= \pm 0{,}205 . 0{,}657 = \pm 0{,}135$

Таблица 4d. **Отдѣлъ IV. Вычисленіе средней ошибки m одного измѣренія и контроль правильности уравновѣшенія.**

1	2							3		4	5			6			
Pn	$a\delta x + b\delta y = \delta\alpha$							$v = f + \delta\alpha$		pvv	$Wn = A^n - A_1$			$u = v = w - \beta$			
Андр. соб. .	+	15,4	−	1,5	+	13,9	+	4,9		24	0	0	0		0	+	4,2
Петроп. соб.	−	5,4	+	8,8	+	3,4	−	1,6		2,6	13	3	24	−	5	−	0,8
Акад. Худ.	+	5,7	−	8	−	2,3	−	3,3		10,9	18	4	27	−	9	−	4,8
Ак. Наукъ.	−	3,1	+	2,2	−	0,9	−	9,9		99,1	20	11	46	−	14	−	9,8
Фл. Адм. .		5,5	−	1,3	−	6,8	−	15,8		251,6	29	41	34	−	20	−	15,8
Шп. Адм. .	−	7,1	−	0,2	−	7,3	+	25,7		660,5	32	6	46	+	23	+	27,2
	−	21,1	+	11	−	17,3	+	30,6						−	25	+	31,4
	+	21,1	−	11	+	17,3	−	30,6						−	4,2	−	31,2

7	
$m^2 = \frac{(pvv)}{n-3}$	1048,7
	349,6
$m =$	± 18,7

Отдѣлъ V. Вычисленіе окончательныхъ азимутовъ *A*.

1	2	3	4	5	6
Pn	*Yn* *Yo* *Yn—Yo* ±	*Xn* *Xo* *Xn—Xo* ±	*lg (Yn—Yo)* *lg (Xn—Xo)* *lg tg A*		*A*
	— 554,198	— 88,003	2,601 1666		
	— 953,376	— 632,897	2,736 3120		36 13 33
Андр. соб. . .	+ 399,178	+ 544,894	9,864 8546		
	+ 302,934	+ 448,366	3,099 0970		
	— 953,376	— 632,897	3,033 9313		49 16 57
Петр. соб.	+ 1256,310	+ 1081,263	0,065 1657		
	— 371,538	— 214,8 5	2,764 8021		
	— 953,376	— 632,897	2,621 2719		54 18
Акад. Худ. . .	+ 581,838	+ 418,092	0,143 5302		
	+ 0	0	2,979 2642		
	— 953,376	— 632,897	2,801 3330		56 25 19
Акад. Наукъ .	+ 953,376	+ 632,897	0,177 9312		
	— 1,174	— 207,329	2,978 7291		
	— 953,376	— 632,897	2,628 9690		65 55 07
Флагъ Адм. .	+ 952,202	+ 425,568	0,349 7601		
	+ 107,015	— 211,742	3,025 4660		
	— 953,376	— 632,897	2,624 4420		65 20 19
Шпиль Адм.	+ 1060,391	+ 421,155	0,401 0240		

штаба въ ст. леобенскаго профессора г. A. Klingatsch: „Die graphische Ausgleichung bei der trigonometrischen Punktbestimmung“ durch Einschneiden и друг. въ Zeitschr. f. Vermessunngswesen за 1895—96 гг.

Способъ графическаго уравновѣшенія координатъ точекъ, опредѣленныхъ прямою или обратною засѣчкою съ точекъ уже извѣстныхъ, приводится также въ цитиров. уже Anweisung IX (см. Trigonometrische Formular 12), но мы его здѣсь касаться не будемъ.

Точно также мы оставимъ безъ разсмотрѣнія предложенный г. Рыльке способъ уравновѣшенія координатъ, принимая измѣренные углы за условныя наблюденія, связанныя между собою системой условныхъ уравненій. Способъ этотъ, съ примѣромъ его поясняющимъ, приводится въ курсѣ практической геодезіи В. В. Витковскаго, къ которому мы и отсылаемъ лицъ, имъ интересующихся.

Наивыгоднѣйшая форма четырехугольника для опредѣленія положенія точки рѣшеніемъ задачи Потенота. Вопросъ о точности различныхъ способовъ геодезическаго опредѣленія точки и вопросъ о наивыгоднѣйшемъ расположеніи точекъ при этомъ разсматривался разными изслѣдователями съ разныхъ точекъ зрѣнія.

Проф. Helmert [1]) основываетъ свои изслѣдованія на свойствахъ эллипсисса погрѣшностей, пользуясь свойствами эквивалентныхъ наблюденій. Эквивалентными называются по Гельмерту такія наблюденія измѣренныхъ величинъ, которыя опредѣляютъ искомыя величины съ тою же степенью точности, съ какою онѣ опредѣляются изъ уравновѣшенныхъ уже данныхъ непосредственнаго измѣренія.

Тѣмъ же эллипсиссомъ погрѣшностей пользуется и проф. Andrä [2]) въ своемъ изслѣдованіи о точности опредѣленія точки графическимъ рѣшеніемъ задачи Потенота при мензульной съемкѣ.

Изслѣдованія проф. Helmert'a и Andrä непосредственнаго значенія для насъ не имѣютъ, ибо они касаются главнѣйше вопроса о точности опредѣленія точки, координаты которой уже уравновѣшены по даннымъ избыточныхъ наблюденій.

Замѣтимъ здѣсь, что въ этомъ случаѣ мы имѣемъ вполнѣ согласующееся съ изслѣдованіями названныхъ лицъ мѣрило точности нашего опредѣленія, взявъ корень квадратный изъ суммы квадратовъ, найденныхъ при уравновѣшеніи среднихъ ошибокъ координатъ точки.

Проф. Jordan въ главѣ II ч. I курса высшей геодезіи [3]) приводитъ

---

[1]) Studien über rationelle Vermessungen. Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phisik. 1868 г. и его же „Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der Kleinsten Quadraten“.

[2]) Fehlerbestimmung bei der Auflösung der Potenoteschen Aufgabe mit dem Messtisch. Astr. Nachr. B. XLII.

[3]) См. также: „Ueber Genauigkeit einfacher geodätischer Punktbestimmung“. Schlöm. Zeitschr. 1871 г. и его же: „Ueber günstigste Form des Viereckes“. Zeitchr. f. Vermess.—wes. 1878.

вмѣстѣ съ изслѣдованіями названныхъ лицъ также результаты собственныхъ изслѣдованій, основанные на построеніи кривыхъ одинаковой точности, для различныхъ способовъ опредѣленія точки. Названныя кривыя строятся проф. Jordan'омъ для прямой и обратной засѣчки точки; для такъ называемой простой тріангуляціи (опредѣленія точки по тремъ угламъ и сторонѣ △-ка) и для особаго случая задачи Потенота, когда три данныя точки лежатъ на одной прямой.

За мѣру точности проф. Jordan принимаетъ отношеніе ошибки опредѣленія точки къ средней ошибкѣ измѣренія угла при съемкѣ, помноженной на длину данной стороны △-ка, $\mu = \frac{M}{a\delta}$.

Кривою одинаковой точности называется геометрическое мѣсто точекъ, для которыхъ μ—постоянно.

Значительно позже проф. Klingatsch [1]), основываясь на изслѣдованіяхъ Jordan'a, далъ общій для разбираемыхъ этимъ послѣднимъ случаевъ простой тріангуляціи, прямой и боковой засѣчекъ точекъ пріемъ графическаго построенія названныхъ кривыхъ.

Кривыхъ одинаковой точности для опредѣленія точки рѣшеніемъ задачи Потенота проф. Klingatsch не строитъ, хотя можно a priori предвидѣть, что предлагаемый имъ способъ построенія названныхъ кривыхъ представляется весьма удобнымъ.

Имѣя кривыя одинаковой точности, легко найти наивыгоднѣйшее для каждаго отдѣльнаго случая расположеніе искомой и данныхъ точекъ.

Мы, однако, не будемъ строить названныхъ кривыхъ и найдемъ наивыгоднѣйшее расположеніе точекъ, пользуясь пріемами графическаго изслѣдованія величины ошибки измѣренія угловъ на точность опредѣленія искомой точки.

Наше разсмотрѣніе мы начнемъ съ болѣе простого случая прямой засѣчки точки P съ двухъ данныхъ точекъ A и B измѣреніемъ угловъ α и β при этихъ послѣднихъ (см. черт. 5-й).

Средней ошибки δ_α измѣренія угла α отвѣчаетъ ошибка въ положеніи точки P, равная

$$m_\alpha = PP_1 = \frac{p_1P_1}{\sin p_1P_1P} = \frac{AP\sin\delta_\alpha}{\sin[180^0-(\alpha+\beta-\delta_\alpha)]}$$

или достаточно точно

$$m_\alpha = \pm\frac{AP}{\sin(\alpha+\beta)}\delta_\alpha.$$

Также точно: средней ошибкѣ δ_β измѣренія угла β отвѣчаетъ ошибка положенія точки P, равная

$$m_\beta = \pm\frac{BP}{\sin(\alpha+\beta)}\delta_\beta$$

---

[1]) Klingatsch: „Genauigkeitskurven bei der geodätischen Punktbestimmung aus zwei Standpunkten“ Zeitschr. f. Vermes.-wes. 1895.

и общая погрѣшность положенія точки P равна

$$M = \pm\sqrt{m_\alpha{}^2 + m_\beta{}^2} = \pm\sqrt{\frac{AP^2(\delta_\alpha)^2 + BP^2(\delta_\beta)^2}{\sin(\alpha+\beta)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

Положивъ, какъ это обыкновенно имѣетъ мѣсто, углы α и β измѣренными съ одинаковою точностью и выразивъ стороны AP и BP черезъ данную третью сторону $AB = a$ и углы $\triangle$-ка найдемъ:

$$M = \pm\frac{a\delta}{\sin^2(\alpha+\beta)}\sqrt{\sin^2\alpha + \sin^2\beta} = \pm\frac{a\delta}{\sin^2(\alpha+\beta)}\sqrt{1-\cos(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\beta)} \quad . \quad . \quad (II),$$

гдѣ $\delta = \delta_\alpha = \delta_\beta$ — средняя ошибка измѣренія угловъ α и β при съемкѣ.

При $\alpha + \beta = 0$ или 180^0 M получается равнымъ безконечности.

При $\alpha + \beta = 90^0$ $M = a\delta$ и отношеніе

$$\mu = \frac{M}{a\delta},$$

служащее, по Jordan'у, мѣриломъ точности, равняется 1-цѣ, т. е. всѣ точки, лежащія на окружности, описанной на прямой AB, какъ на діаметрѣ, (черт. 6-й), опредѣляются прямою засѣчкою съ одинаковою точностью, равною 1-цѣ.

Для всѣхъ точекъ, лежащихъ внѣ названнаго круга, отношеніе

$$\mu = \frac{M}{a\delta}$$

больше 1-цы и при $\alpha = \beta$ получаетъ свою наибольшую величину, ибо членъ $-\cos(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\beta)$, являясь положительнымъ, получаетъ для даннаго значенія $\alpha + \beta = \varphi$ свою наибольшую величину.

Наоборотъ, для всѣхъ точекъ, лежащихъ внутри указанной окружности, ошибка M получаетъ для даннаго значенія суммы угловъ $\alpha + \beta$ свою наименьшую величину, когда $\alpha - \beta = 0$, ибо въ этомъ случаѣ членъ $-\cos(\alpha+\beta)\cdot\cos(\alpha-\beta)$, оставаясь отрицательнымъ, получаетъ свой максимумъ и отношеніе:

$$\mu = \sqrt{\frac{1-\cos(\alpha+\beta)}{\sin^2(\alpha+\beta)}} = \frac{1}{2\sqrt{2}\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cdot\cos^2\frac{\alpha+\beta}{2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (II)$$

Опредѣливъ въ выраженіи (II) величину угла $\frac{\alpha+\beta}{2}$, соотвѣтствующую наибольшему значенію знаменателя, найдемъ

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha+\beta}{2} = \qquad \operatorname{ttg}\beta = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

и

$$\alpha = \beta = \frac{\alpha+\beta}{2} = 35^0\ 16'$$ (точки P_1 и P_2, фиг. 6).

Подставивъ это значеніе для $\frac{\alpha+\beta}{2}$ въ предыдущее выраженіе, найдемъ наименьшее значеніе для μ равнымъ:

$$\mu_{\min} = \frac{3\sqrt{2}}{3\sqrt{3}},$$

т. е. наивыгоднѣйшій случай прямой засѣчки получается для точки, лежащей на перпендикулярѣ, возстановленномъ къ срединѣ прямой AB ($\alpha = \beta$) съ угломъ пересѣченія, равнымъ $180^0 - (\alpha+\beta) = 109^0\ 28'$.

Замѣтимъ еще, что внутри указаннаго круга, описаннаго на линіи AB какъ на діаметрѣ, существуетъ другая кривая, всѣ точки которой опредѣляются съ точностью, равною 1-цѣ.

Въ самомъ дѣлѣ: положивъ въ ур-ніи (II)

$$\mu = \frac{M}{a\delta} = 1,$$

получимъ, послѣ нѣкоторыхъ преобразованій,

$$[1 - \cos^2(\alpha+\beta)]^2 = 1 - \cos(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\beta),$$

или

$$\cos(\alpha+\beta)[\cos^3(\alpha+\beta) - 2\cos(\alpha+\beta) + \cos(\alpha-\beta)] = 0. \quad . \quad . \quad \text{(III)}$$

Такимъ образомъ кромѣ круга, описаннаго на прямой AB, какъ на діаметрѣ, опредѣляемго уравненіемъ:

$$\cos(\alpha+\beta) = 0 \text{ или } \alpha+\beta = 90^0,$$

имѣется еще вторая кривая, опредѣляемая уравненіемъ:

$$\cos^3(\alpha+\beta) - 2\cos(\alpha+\beta) + \cos(\alpha-\beta) = 0, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(IV)}$$

для всѣхъ точекъ которой $\mu = 1$-цѣ.

Изслѣдованіемъ уравненія (IV) легко убѣдиться, что при $\alpha - \beta = 0$ сумма угловъ $\alpha+\beta$ получаетъ свою наименьшую, а уголъ $\varphi = 180 - (\alpha+\beta)$ наибольшую величину, равную

$$\varphi = 180^0 - \operatorname{Arccos}\frac{\sqrt{5}-1}{2} = 180^0 - 51^0\,49'\,38'' = 128^0\,10'\,22''.$$

Опредѣливъ изъ уравненія:

$$\cos(\alpha-\beta) = \cos(\alpha+\beta)[2-\cos^2(\alpha+\beta)]$$

значенія $(\alpha-\beta)$, соотвѣтствующія даннымъ значеніямъ $\alpha+\beta$, мы можемъ построить кривую по точкамъ, описавъ на AB, какъ хордѣ, дугу, вмѣщающую уголъ $\alpha+\beta$, и отложивъ отъ точки пересѣченія этой дуги съ перпендикуляромъ, возстановленнымъ изъ средины AB, дугу, равную $\alpha-\beta$.

Такъ какъ уголъ $\alpha+\beta$ не можетъ быть меньше $51^0\ 49'\ 38''$, то всѣ

точки кривой лежатъ внѣ площади фигуры, очерченной дугами, вмѣщающими этотъ предѣльный уголъ.

Кривая симметрична относительно линіи AB и перпендикуляра, возстановленнаго къ ней изъ средины, ибо на прямой AB можно описать двѣ дуги, вмѣщающія данный уголъ $\alpha + \beta$, и всякому данному значенію суммы угловъ $\alpha + \beta$ отвѣчаетъ два значенія разности

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos(\beta - \alpha) = \cos(\alpha + \beta)\,[2 - \cos^2(\alpha + \beta)].$$

Въ точкахъ A и B кривая сливается съ кругомъ—$\cos(\alpha + \beta) = 0$. Все сказанное достаточно характеризуетъ нашу кривую, какъ кривую эллиптическаго вида, симметричную относительно оси AB и DD_1 (см. фиг. 6) и касающуюся круга, описаннаго на AB, какъ на діаметрѣ, въ точкахъ A и B, и дугъ ADB и AD_1B, вмѣщающихъ уголъ $\alpha + \beta = 128^0\ 10'\ 22''$ въ точкахъ D и D_1.

Для всѣхъ точекъ, лежащихъ между окружностью названнаго круга и кривою $ADBD_1$, $\mu < 1$; для точекъ внутри этой кривой $\mu > 1$ и для точекъ, лежащихъ на кривой, $\mu = 1$.

Замѣтимъ, что для точекъ, лежащихъ на дугахъ ADB и AD_1B, вмѣщающихъ предѣльный уголъ $\alpha + \beta = 51^0\ 49'\ 38''$, μ весьма мало отличается отъ 1-цы [1]).

Изъ сказаннаго ясно, что тупоугольные $\triangle$-ки съ угломъ не свыше $128^0\ 70'\ 22''$ при опредѣляемой точкѣ столько же, а во многихъ случаяхъ даже болѣе выгодны для опредѣленія точки прямой засѣчкой, какъ и треугольники прямоугольные при этой точкѣ.

Наоборотъ, $\triangle$-ки съ острымъ угломъ при опредѣляемой точкѣ очень невыгодны для случая прямой засѣчки. Такъ, напримѣръ, для равнобедреннаго $\triangle$-ка съ угломъ при точкѣ P_3 равнымъ $51^0\ 49'\ 38''$ отношеніе $\mu = 3{,}115$, т. е. ошибка опредѣленія точки получается въ 3,115 разъ больше, нежели для прямоугольнаго треугольника, имѣющаго гипотенузой данную сторону $AB = a$.

Послѣднее замѣчаніе совершенно опровергаетъ установившееся въ практикѣ мнѣніе, что для прямой засѣчки, какъ и для тріангуляціи, полезно брать $\triangle$-ки близкіе къ равностороннимъ.

Переходя къ погрѣшности опредѣленія точки рѣшеніемъ задачи Потенота, мы воспользуемся предложеннымъ г. Runge [2]) способомъ рѣшенія данной задачи, какъ задачи о прямой засѣчкѣ точекъ.

---

[1]) Положивъ въ уравненіи

$$\mu = \frac{M}{a(\delta)} = \sqrt{\frac{1 - \cos(\alpha + \beta)\cos(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)}};\quad \alpha + \beta = 51^0\ 49'\ 38'',$$

найдемъ для

$\alpha - \beta = \beta - \alpha =$	0^0	15^0	30^0	45^0	$51^0\ 49'\ 38''$
$\mu =$	1	1,027	1,101	1,214	1,272

[2]) См. Runge: „Ueber die Verwandtschaft des Rückwärts und Vorwärts Einschneidens". Zeitschr. f. Verm.-wes. 1889 и его же: „Graphische Ausgleichung beim Rückwärts Einschneiden. Ibd." 1900.

Способъ г. Runge основанъ на замѣнѣ данной системы точекъ A, C и P новыми A', C' и P' (фиг. 7-ая), разстоянія которыхъ до точки B, принимаемой за центръ, обратны соотвѣтствующимъ разстояніямъ старыхъ точекъ

$$BA' = \frac{1}{BA}; BC' = \frac{1}{BC} \text{ и } BP' = \frac{1}{BP}$$

или

$$BA' \times BA = BC' \times BC = BP' \times BP = 1. \text{ (см. фиг. 7).}$$

Сдѣлавъ это построеніе и соединивъ точку P' съ точками A' и C', получимъ $\triangle$-ки $A'BP'$ и $C'BP'$, подобные $\triangle$-камъ ABP и CBP, при чемъ углы α и φ, β и ψ будутъ перемѣнены мѣстами.

Изъ сказаннаго вытекаетъ слѣдующій пріемъ рѣшенія задачи Потенота.

Принявъ среднюю изъ данныхъ точекъ за центръ системы, строятъ точки A' и C' въ разстояніяхъ

$$BA' = \frac{1}{BA}; \; BC' = \frac{1}{BC} \text{ отъ точки } B.$$

При точкахъ A' и C' строятъ углы $BA'P' = \alpha$ и $BC'P' = \beta$ и опредѣляютъ такимъ образомъ точку P' прямой засѣчкой, пользуясь измѣренными при съемкѣ углами α и β.

Отложивъ на радіусѣ BP' отрѣзокъ

$$BP = \frac{1}{BP'},$$

опредѣлимъ искомую точку P, ибо, по предыдущему, углы APB и BPC при этой точкѣ P равны измѣреннымъ угламъ α и β.

Всякому малому перемѣщенію M_1 точки P' соотвѣтствуетъ перемѣщеніе точки, P равное

$$M = \frac{BP}{BP'} M_1 = BP^2 M_1,$$

и вопросъ о точности опредѣленія точки P рѣшеніемъ задачи Потенота приводится, такимъ образомъ, къ разобранному уже вопросу о точности прямой засѣчки точекъ.

Соединивъ точки A' и C', получимъ $\triangle A'BC'$, подобный $\triangle ABC$, съ углами $A' = C$ и $C' = A$, что даетъ углы въ $\triangle A'P'C'$, служащемъ для засѣчки точки P', равными $C'A'P' = \alpha \mp C$ и $A'C'P' = \beta \mp A$, смотря потому, находится ли точка P внутри, или внѣ $\triangle ABC$ (см. фиг. 7[1]).

Полагая, какъ обыкновенно, углы A и C при данныхъ точкахъ безошибочными, найдемъ погрѣшность угловъ A' и C' $\triangle A'C'P'$ равными погрѣшностямъ измѣренія угловъ α и β.

Прилагая къ $\triangle A'C'P'$ предыдущія формулы, найдемъ погрѣшность опредѣленія точки P' равною

$$M_1 = \pm \frac{\sqrt{A'P'^2(\delta_\alpha)^2 + C'P'^2(\delta_\beta)^2}}{\sin(\varphi + \psi)} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ I}$$

или

$$M_1 = \pm \frac{A'C'(\delta)}{\sin^2(\varphi+\psi)} \sqrt{1+\cos(\varphi+\psi)\,\cos\,[(\alpha \pm C)-(\beta \pm A)]}, \quad . \quad . \quad . \quad \text{II}$$

гдѣ $\delta\alpha = \delta\beta = \delta$ — ошибка измѣренія угловъ α и β; $\varphi+\psi$ — уголъ при точкѣ P' $\triangle A'C'P'$ и $A'C'$—сторона тогоже $\triangle$-ка, равная

$$A'C' = \frac{AC \times BC'}{BA} = \frac{AC}{BA \times BC}.$$

Ошибка M положенія точки P, по предыдущему, равна

$$M = \frac{BP}{BP'} M_1 = BP^2 M_1,$$

что даетъ:

$$M = \pm \frac{BP}{BP'} \frac{A'C'(\delta)}{\sin^2(\varphi+\psi)} \sqrt{1+\cos(\varphi+\psi)\,\cos[(\alpha \pm C)-(\beta \pm A)]}$$

или

$$M = \pm \frac{BP^2}{AB \times BC} \frac{AC(\delta)}{\sin^2(\varphi+\psi)} \sqrt{1+\cos(\varphi+\psi)\,\cos[(\alpha \pm C)-(\beta \pm A)]} \quad . \quad . \quad \text{III}$$

Какъ видно изъ формулы I, ошибка M_1 положенія точки P', а съ нею вмѣстѣ и ошибка M получаются безконечно большими, если $\varphi + \psi = 0^0$ или 180^0, т. е. если точка P лежитъ на одной прямой или на одной окружности съ данными точками A' B и C, что вполнѣ подтверждаетъ сдѣланный ранѣе выводъ о невыгодности даннаго случая расположенія точекъ для рѣшенія задачи Потенота.

При $\varphi + \psi = 90^0$ или 270^0 отношеніе

$$\mu = \frac{M}{AC(\delta)},$$

характеризующее степень точности опредѣленія точки P, получаетъ различную величину, въ зависимости отъ величины отношенія

$$\frac{BP^2}{BA \times BC} = \frac{\sin\varphi \,.\, \sin\psi}{\sin\alpha \,.\, \sin\beta} = \frac{\sin 2\varphi}{2\sin\alpha \,.\, \sin\beta}.$$

Такимъ образомъ сумма угловъ $\varphi + \psi$ лишь отчасти характеризуетъ точность опредѣленія точки P, и вопросъ о наивыгоднѣйшей формѣ четырехугольника нуждается въ дальнѣйшемъ изслѣдованіи.

Для такого изслѣдованія удобно воспользоваться окружностью $APCP'$, дуга которой APC, опирающаяся на линію AC, какъ на хорду, вмѣщаетъ уголъ, равный суммѣ измѣренныхъ угловъ $\alpha + \beta$, или ея дополненіе до 360^0 (см. черт. 8 и 9).

Продолживъ хорды или сѣкущія BA и BC до пересѣченія съ окружностью, получимъ точки A' и C' предыдущаго чертежа, ибо, по извѣстной теоремѣ геометріи $BA' \times BA = BC' \times BC = BK^2$, BK обозначаетъ здѣсь половину хорды KK', проходящей черезъ точку B и $\perp$-ной къ радіусу BO (черт. 8), или длину касательной, проведенной изъ точки B, если точка B лежитъ внѣ окружности $APCP'$ (черт. 9).

Построивъ при точкахъ A' и C' углы α и β, получимъ, точку P',

соединивъ которую съ B, опредѣлимъ искомую точку P, для которой

$$\angle APB = \alpha;\ \angle BPC = \beta \text{ и } BP' \times BP = BK^2.$$

Изъ чертежа видно, что

$$A'C' = 2R\sin(\varphi + \psi) = \frac{AC\sin(\varphi + \psi)}{\sin(\alpha + \beta)},$$

откуда ошибка получается равной:

$$M = \pm\frac{BP}{BP'}M_1 = \pm\frac{BP}{BP'}\times\frac{AC(\delta)}{\sin(\alpha+\beta)\sin(\varphi+\psi)}\sqrt{1+\cos(\varphi+\psi)\cos[(\alpha+C)-(\beta+A)]}$$

или

$$M = \pm\frac{PP^2}{BK^2}M_1 = \pm\frac{BP^2}{BK^2}\times\frac{AC(\delta)}{\sin(\alpha+\beta)\sin(\varphi+\psi)}\sqrt{1+\cos(\varphi\pm\psi)\cos[(\alpha+C)-(\beta\pm A)]} \quad \text{VI}$$

гдѣ углы A и C и знаки $\pm$ подъ корнемъ имѣютъ тѣ же значенія, что и раньше.

Переходя къ изслѣдованію этихъ формулъ, замѣтимъ прежде всего, что если точка B совпадаетъ съ центромъ круга, описаннаго вокругъ точекъ A, C и P (черт. 10), то отношеніе

$$\frac{BP}{BP'} = 1;\ A = C,\ \alpha = \varphi \text{ и } \beta = \psi$$

и наша формула получаетъ видъ

$$M = \frac{AC(\delta)}{\sin^2(\alpha+\beta)}\sqrt{1+\cos(\alpha+\beta)\cos(\alpha-\beta)} = \frac{AC}{\sin^2(\alpha'+\beta')}\sqrt{1-\cos(\alpha'+\beta')\cos(\alpha'-\beta')},$$

гдѣ $\alpha' = 90-\alpha$ и $\beta' = 90-\beta$.

Къ этому случаю приложимы безъ всякихъ измѣненій всѣ предыдущіе выводы о точности прямой засѣчки точекъ, если мы условимся считать за углы α' и β' трехугольника дополненіе измѣренныхъ угловъ до 90^0.

Минимумъ

$$\mu = \frac{M}{AC(\delta)}$$

получается при $\alpha = \beta$ и $\alpha+\beta = 109^\circ 28'$ (точки P_0 и P'_0, черт. 11).

$\mu = 1$, если $\alpha+\beta = 90^0$, т. е. если точка P лежитъ на окружности, описанной на AC, какъ на діаметрѣ, точка же B совпадаетъ съ центромъ этого круга (черт. 11). Наконецъ, внутри названной окружности существуетъ эллиптическая кривая, близко подходящая къ дугамъ AP_1C и $AP_1'C$, вмѣщающимъ уголъ $\alpha+\beta = 128^0 10'20''$, для всѣхъ точекъ которой $\mu = 1$, если точка B совпадаетъ съ центрами названныхъ дугъ.

Замѣтимъ здѣсь, что отношеніе μ будетъ равно 1-цѣ и въ томъ случаѣ, когда точка P лежитъ на окружности, описанной на AC, какъ на діаметрѣ; точка же B лежитъ у основанія перпендикуляра, опущеннаго изъ точки P на прямую AC (см. черт. 12), ибо въ этомъ случаѣ $BP = BP'$; $\alpha+\beta = 90^0$ и $\varphi+\psi = 90^0$.

Все сказанное относилось къ случаю расположенія точки B внутри круга $APCP'$.

Сдѣланные выводы останутся справедливыми и для точки B, расположенной внѣ названной окружности на весьма значительномъ разстояніи отъ нея, ибо въ этомъ случаѣ отношеніе $\frac{BP}{BP'}$ можно принять, примѣрно, равнымъ 1-цѣ, углы A и C равными 90^0, уголъ $\gamma = 0^0$ и сумму угловъ $\varphi + \psi = 360^0 - (\alpha + \beta)$ (черт. 13).

Сказанное подтверждаетъ рекомендуемый Anweisung IX выборъ данныхъ точекъ такимъ образомъ, чтобы двѣ изъ нихъ находились ближе, а третья дальше отъ опредѣляемой точки, съ существенной, однако, поправкой, а именно: *уголъ $\alpha + \beta$ между направленіями на близкія точки долженъ заключаться между 90^0 и 130^0, а не между 60^0 и 90^0*, какъ это рекомендуется названной книгой.

Во всѣхъ разобранныхъ случаяхъ отношеніе $\frac{BP}{BP'}$ принималось равнымъ 1-цѣ, и точность опредѣленія точки рѣшеніемъ задачи Потенота получилась одинаковою съ точностью опредѣленія точки прямой засѣчкой.

При выводѣ наивыгоднѣйшей фигуры четырехугольника необходимо, очевидно, принять въ расчетъ измѣненіе отношенія $\frac{BP}{BP'}$.

Для даннаго значенія суммы угловъ $\alpha + \beta$ и $\varphi + \psi$ отношеніе $\frac{BP}{BP'}$ получается минимальнымъ, если точка P находится на ближайшемъ къ B концѣ діаметра PP', проходящаго черезъ точку B (см. черт. 14).

Углы $\alpha \pm C$ и $\beta \pm A$ будутъ въ этомъ случаѣ равны угламъ $90^0 - \psi$ и $90^0 - \varphi$, что даетъ ошибку M равною:

$$M = \pm \frac{BP^2}{AB \cdot BC} \frac{AC(\delta)}{\sin^2(\varphi + \psi)} \sqrt{1 + \cos(\varphi + \psi)\cos(\varphi - \psi)},$$

см. форм. (II), или

$$M = \pm \frac{BP}{BP'} \frac{AC(\delta)}{\sin(\alpha + \beta)\sin(\varphi + \psi)} \sqrt{1 + \cos(\varphi + \psi)\cos(\varphi - \psi)}.$$

Если при этомъ $\triangle$-къ $A'C'P'$ будетъ равнобедренный, т. е. если $\varphi = \psi$ и $\alpha = \beta$, то величина, стоящая подъ корнемъ, будетъ для даннаго случая расположенія точекъ имѣть свой максимумъ или минимумъ.

Въ этомъ случаѣ ошибка M равна

$$M = \pm \frac{\sin^2\varphi}{\sin^2\alpha} \frac{AC(\delta)\cos\varphi}{2\sqrt{2}\ \sin^2\varphi \cdot \cos^2\varphi}$$

и

$$\mu = \frac{M}{AC(\delta)} = \frac{1}{2\sqrt{2}\ \sin^2\alpha \cdot \cos\varphi},$$

что даетъ при

$$\alpha = \beta = 90^0 \text{ и } \varphi = \psi = 0^0$$

минимумъ отношенія μ, равный

$$\mu_{min} = \frac{1}{2\sqrt{2}} = 0{,}535.$$

Такимъ образомъ наивыгоднѣйшимъ для задачи Потенота является расположеніе искомой точки P на прямой, соединяющей двѣ данныя точки посрединѣ разстоянія между ними (см. черт. 15), а третьей данной точки B на перпендикулярѣ BP въ возможно близкомъ разстояніи отъ точки P.

Эта *наивыгоднѣйшая* форма четырехугольника рѣзко противорѣчитъ какъ цитированному выше указанію Anweisung IX (точка B находится здѣсь вблизи опредѣляемой точки и сумма угловъ $\alpha + \beta = 180^0$), такъ и обычно принимаемому указанію относительно суммы угловъ $\varphi + \psi$, равной въ данномъ случаѣ 0^0.

Такое противорѣчіе вполнѣ объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что точка P опредѣляется въ данномъ случаѣ пересѣченіемъ прямой AC съ одною изъ окружностей, описанныхъ на линіяхъ AB или BC, какъ на діаметрѣ.

Замѣтимъ, что расположеніе точки P на линіи, соединяющей точки A и C посрединѣ разстоянія между ними, а точки B на перпендикулярѣ къ этой линіи, представляется весьма выгоднымъ, ибо въ этомъ случаѣ знаменатель отношенія $\mu = \frac{1}{2\sqrt{2}\,\sin^2\alpha \cdot \cos\varphi}$ убываетъ крайне медленно.

Такъ, при $\varphi = 45^0$, когда $BP = AP = \frac{AC}{2}$; $\mu = \frac{1}{2}$ и $\mu = 1$ лишь при $\cos\varphi = \frac{1}{2\sqrt{2}}$, что даетъ $\varphi = 69^0 17' 40^0$ и $BP = \frac{AC}{2}\,\mathrm{tg}\varphi = 1{,}323\ AC$.

Изъ сказаннаго ясно, что опредѣленіе положенія точки рѣшеніемъ задачи Потенота можетъ служить надежнымъ коррективомъ прямой засѣчки точекъ въ томъ неблагопріятномъ для даннаго способа случаѣ, когда опредѣленная точка находится на прямой, соединяющей двѣ данныя точки.

Сказаннымъ мы и закончимъ настоящую замѣтку, оставляя до другого раза болѣе детальное изслѣдованіе точности опредѣленія точки P въ различныхъ случаяхъ расположенія данныхъ точекъ.

Замѣтимъ здѣсь, что вычисленіе приближенныхъ и уравновѣшенныхъ значеній координатъ искомой точки, пользуясь 7-значными таблицами lg-овъ, принято исключительно въ видахъ удобства вычисленія, и что для нашей цѣли было бы вполнѣ достаточно вести всѣ вычисленія съ 5-значными таблицами.

ВЫБОРЪ СИСТЕМЫ РАБОТЪ ПРИ РАЗРАБОТКѢ СВИТЫ ПЛАСТОВЪ.

Горн. инж. Б. И. Бокія.

ВВЕДЕНІЕ.

При оборудованіи рудниковъ, работы по вскрытію мѣсторожденія относятся обыкновенно въ статью „капитальныхъ затратъ“ и, какъ таковыя, погашаются ежегоднымъ отчисленіемъ извѣстной суммы. Размѣръ погашенія, находясь въ каждомъ данномъ случаѣ въ полной зависимости отъ общаго собранія акціонеровъ или вообще владѣльцевъ предпріятія, опредѣляется обыкновенно съ такимъ расчетомъ, чтобы затраченный капиталъ былъ покрытъ ко времени окончанія срока договора, если предпріятіе основано на арендованномъ участкѣ, или же, если предпріятіе владѣетъ собственнымъ участкомъ, для погашенія затраченнаго капитала устанавливается извѣстный срокъ, какъ вообще для недвижимыхъ имуществъ, напримѣръ, 30 лѣтъ.

Кромѣ работъ по вскрытію мѣсторожденія, въ статью „капитальныя затраты“ относятся еще расходы по сооруженію поверхностныхъ техническихъ и хозяйственныхъ построекъ и зданій, устройство освѣщенія, водопровода, подъѣздныхъ путей и прочаго.

Отнесеніе расходовъ по такимъ разнороднымъ отдѣламъ въ одну общую статью и общее ихъ погашеніе не даетъ возможности отнестись критически къ различнымъ способамъ вскрытія мѣсторожденія.

Было бы гораздо правильнѣе выдѣлить эти послѣдніе въ отдѣльную статью и производить погашеніе ихъ попудно на то количество угля, которое данными работами будетъ вскрыто.

На нѣкоторыхъ рудникахъ ведется смѣшанная система погашенія: часть работъ по вскрытію относится къ „капитальнымъ затратамъ“, (напримѣръ, проходка шахтъ), другая же часть (напримѣръ, квершлаги) относится къ „подготовительнымъ работамъ“, при чемъ погашеніе этихъ послѣднихъ производится или сразу, т. е. вся сумма расходовъ списывается

и погашается ежемѣсячно тѣмъ количествомъ угля, которое въ этотъ мѣсяцъ добыто, или же погашеніе производится на тотъ запасъ угля, который открывается даннымъ квершлагомъ.

Нужно замѣтить, кстати, что классификація работъ по вскрытію и подготовкѣ мѣсторожденія къ добычѣ на рудникахъ Юга Россіи точно не установлена: на большинствѣ рудниковъ къ „подготовительнымъ работамъ“ относятся работы по прохожденію и закрѣпленію откаточныхъ, этажныхъ и промежуточныхъ штрековъ, бремсберговъ, путевыхъ и вентиляціонныхъ сбоекъ, при чемъ работы по углю во всѣхъ этихъ выработкахъ причисляются къ статьѣ „вырубка угля“; работы же по вскрытію мѣсторожденія, какъ-то: прохожденіе шахтъ, штоленъ, квершлаговъ, гезенковъ и пр. относятся къ капитальнымъ затратамъ и погашаются, какъ сказано было выше, ежегоднымъ отчисленіемъ извѣстной суммы, иногда же нѣкоторыя изъ этихъ работъ причисляются къ подготовительнымъ работамъ и погашаются попудно.

Нечего и говорить, что подобная постановка вопроса вноситъ массу неясности въ отчетность и не даетъ возможности сравнивать между собой состояніе отдѣльныхъ статей, часто одинаковыхъ по названію, но разныхъ по содержанію, на различныхъ рудникахъ.

Установленіе однообразія въ этомъ отношеніи было бы весьма желательно. Съ этой точки зрѣнія, прежде всего, работы, назначенныя для вскрытія мѣсторожденія, какъ-то: прохожденіе шахтъ, штоленъ, квершлаговъ, гезенковъ и юберзихбреховъ, должны быть выдѣлены изъ статьи „капитальныхъ затратъ вообще“ въ отдѣльную статью, сохранивши за ней названіе хотя бы „капитальныхъ затратъ по вскрытію мѣсторожденія“; съ другой стороны, эту статью не должно смѣшивать со статьей, называемой нынѣ на рудникахъ Донецкаго бассейна „подготовительными работами“. Главное различіе между этими двумя статьями то, что „работы по вскрытію мѣсторожденія“ суть тѣ, которыя должны быть произведены для полученія возможности разрабатывать мѣсторожденіе, а потому онѣ не зависятъ отъ системы эксплоатаціи отдѣльныхъ пластовъ; „подготовительныя же работы“ суть тѣ, которыя производятся уже при разработкѣ мѣсторожденія, а потому количество и стоимость ихъ находятся въ нѣкоторой отъ нея зависимости.

Такимъ образомъ, къ работамъ по вскрытію относятся: углубленіе подъемной и вентиляціонной шахтъ и пересѣченіе всей свиты помощью *одного* квершлага, гезенка или тому подобной выработки. Сюда же, въ случаѣ надобности, должно быть отнесено и прохожденіе 2-го квершлага, если только онъ назначенъ исключительно для цѣлей вентиляціи.

Какъ капитальныя затраты по вскрытію, такъ и подготовительныя работы должны погашаться попудно тѣмъ запасомъ угля, который онѣ въ каждомъ данномъ случаѣ открываютъ. Такое погашеніе будетъ безусловно самымъ правильнымъ и позволяетъ отнестись критически къ раз-

личнымъ способамъ, такъ какъ при этомъ представляется полная возможность сравнивать ихъ между собой.

При ежемѣсячномъ погашеніи подготовительныхъ работъ, цифра стоимости этой статьи будетъ постоянно дѣлать скачки: чѣмъ меньше количество подготовительныхъ работъ и чѣмъ больше мѣсячная добыча угля, тѣмъ ниже будетъ цифра погашенія, и наоборотъ. Такимъ образомъ можетъ случиться, что при нераціонально веденныхъ подготовительныхъ работахъ, но при большой добычѣ, цифра стоимости этой статьи будетъ довольно низкой и, наоборотъ, при вполнѣ раціональныхъ работахъ, но низкой добычѣ, цифра эта будетъ довольно высока, что въ каждомъ данномъ случаѣ можетъ дать совершенно ложное освѣщеніе всему вопросу.

То же самое можно сказать и про практикуемое нынѣ погашеніе „капитальныхъ затратъ по вскрытію мѣсторожденія"—ежегоднымъ отчисленіемъ извѣстной суммы, при которомъ часто бухгалтерская стоимость шахты совершенно не соотвѣтствуетъ ея дѣйствительной стоимости.

Такимъ образомъ цеховая стоимость угля будетъ слагаться изъ слѣдующихъ статей:

1. Капитальныя затраты по вскрытію мѣсторожденія.
2. Подготовительныя работы.
3. Вырубка угля.
4. Крѣпленіе выемочнаго поля.
5. Закладка.
6. Откатка подъ землей.
7. Подъемъ.
8. Откатка на поверхности.
9. Водоотливъ.
10. Ремонтъ и содержаніе шахты и штрековъ.
11. Освѣщеніе.
12. Вентиляція.
13. Техническій надзоръ.

При составленіи проекта разработки шахты необходимо разсмотрѣть самымъ тщательнымъ образомъ какъ отдѣльно каждую изъ вышеуказанныхъ статей, такъ и ихъ совокупность.

Если, напримѣръ, одна система эксплоатаціи даетъ стоимость вырубки 1,50 коп. на пудъ и стоимость крѣпленія—0,75 коп., а другая—1,65 и 0,50, то, конечно, нужно предпочесть вторую; точно также, если при одной системѣ вскрытія мѣсторожденія расходы по этой статьѣ упадутъ, скажемъ, на 0,05 коп. на пудъ, а откатка подъ землей на 0,30 коп., а при другой—0,04 и 0,35, то преимущества будутъ на сторонѣ первой.

Предлагаемая работа имѣетъ цѣлью дать возможность въ каждомъ данномъ случаѣ вычислить стоимость каждой статьи, выяснить колебанія ея подъ вліяніемъ различныхъ факторовъ и дать, по возможности, общія заключенія о случаяхъ наивыгоднѣйшаго примѣненія той или другой системы работъ.

ГЛАВА I.

Работы по вскрытію мѣсторожденія.

§ 1. *Типы каменноугольныхъ концессій.*

Концессіи каменноугольныхъ предпріятій Южной Россіи можно подвести подъ слѣдующіе 4 типа:

1) Когда право разработки мѣсторожденія ограничено извѣстнымъ количествомъ угля и срокомъ времени.

2) Когда оно ограничено извѣстною глубиною работъ и срокомъ времени.

3) Когда оно ограничено только извѣстнымъ срокомъ времени.

4) Когда оно не ограничено никакими условіями.

Первый случай имѣетъ мѣсто обыкновенно для маленькихъ предпріятій съ небольшимъ капиталомъ, когда предпринимателемъ является одно лицо или товарищество изъ 2—3 лицъ, арендующихъ небольшой участокъ земли. Предприниматель, получивъ концессію на выработку извѣстнаго количества угля, старается выбрать его какъ можно скорѣе, чтобы уменьшить такимъ образомъ общіе и накладные расходы. Само собой разумѣется, что разрабатываетъ онъ только пласты, наиболѣе для него выгодные, и неглубокими шахтами, затраты на которыя могли бы быть погашены въ теченіе небольшого срока ихъ существованія.

Концессіи, относящіяся ко 2-му типу, требуютъ большаго капитала. Предприниматель эксплоатируетъ всѣ пласты, которые представляютъ хоть какую-либо выгоду, чтобы забрать, по возможности, все, что только можно, и не оставить владѣльцу того, что могло бы принести пользу ему, предпринимателю.

Самыя же крупныя предпріятія относятся къ 4-му и 3-му типамъ, т. е. имѣютъ собственные участки или арендованные на болѣе или менѣе долгій срокъ (отъ 30 до 99 лѣтъ).

Капитальныя устройства, центральныя шахты съ большою производительностью могутъ существовать только въ предпріятіяхъ послѣднихъ трехъ типовъ, когда капиталъ не стѣсненъ временемъ, т. е. когда единовременныя большія затраты могутъ быть постепенно погашены въ большой промежутокъ времени.

Въ настоящее время, съ развитіемъ каменноугольной промышленности на Югѣ, и въ особенности въ недалекомъ будущемъ, когда верхніе горизонты каменноугольныхъ пластовъ будутъ выработаны и по необходимости придется для разработки проводить шахты болѣе глубокія, наступаетъ какъ разъ благопріятный моментъ выяснить, въ какихъ случаяхъ и руководствуясь какими данными нужно отдать предпочтеніе тому или другому способу работъ.

Въ горной практикѣ издавна установился взглядъ, что крутопадающіе пласты должны разрабатываться при помощи серіи квершлаговъ, проходя постепенно шахту на извѣстную глубину и проводя съ каждаго горизонта квершлаги, пересѣкающіе всю свиту. Пологопадающіе пласты разрабатываются или отдѣльными шахтами, или, въ случаѣ разработки одною центральною шахтою нѣсколькихъ пластовъ, примѣняется устройство гезенковъ съ одного пласта на другой, по которымъ устанавливается спускъ вагонетокъ съ углемъ на горизонтъ нижняго работающагося пласта. Встрѣчается иногда способъ разработки и пологопадающихъ пластовъ при помощи квершлаговъ.

Съ перваго взгляда казалось бы, что послѣдній способъ не выгоденъ, ибо при пологомъ паденіи квершлаги получаются очень длинные, но такъ какъ при этомъ способѣ выемочныя поля выходятъ большой наклонной высоты, то каждый квершлагъ открываетъ очень большой запасъ угля. При крутомъ паденіи квершлаги получаются значительно короче, но зато и запасы открываемаго ими угля, при незначительной наклонной высотѣ этажей, гораздо меньше, чѣмъ въ первомъ случаѣ. Такимъ образомъ, разсуждая a priori, погашеніе стоимости квершлаговъ на пудъ угля составляетъ въ обоихъ случаяхъ почти одну и ту же величину. Но такое заключеніе было бы слишкомъ поспѣшно: въ нѣкоторыхъ случахъ приходится отдать предпочтеніе гезенкамъ, тогда какъ въ другихъ всѣ преимущества лежатъ на сторонѣ квершлаговъ. Причина этому кроется въ томъ, что, кромѣ угла паденія, на сравнительную выгодность разработки квершлагами или гезенками пологопадающихъ мѣсторожденій вліяетъ еще глубина шахтъ, число рабочихъ пластовъ, производительность ихъ и взаимное ихъ положеніе.

Постараемся выяснить вліяніе всѣхъ этихъ причинъ въ ихъ совокупности на стоимость той или другой системы разработки и попытаемся выразить математическими формулами ихъ взаимное отношеніе.

§ 2. *Способъ вскрытія мѣсторожденій помощью системы отдѣльныхъ шахтъ, шахтъ съ квершлагами и шахтъ съ гезенками.*

Предположимъ, что мы имѣемъ свиту пластовъ A, B, C ... и желаемъ разрабатывать ихъ наивыгоднѣйшимъ образомъ и съ наименьшей затратой капитала [1]).

Разсмотримъ различныя системы разработки этой свиты:

1) Фиг. 1, табл. II. Каждый пластъ работается отдѣльною шахтою.

2) Фиг. 2. Центральная шахта доведена до нѣкоторой глубины H, и отъ нея проведенъ квершлагъ въ обѣ стороны до пересѣченія всей свиты.

3) Фиг. 3. Шахта углубляется черезъ извѣстный промежутокъ вре-

[1]) Вопросъ разсматривается только со стороны капитальныхъ затратъ.

мени на нѣкоторую глубину h и съ каждаго такого горизонта проводятся квершлаги, пересѣкающіе всю свиту и открывающіе каждый поля, наклонной высотой=высотѣ этажа, раздѣленной на sin угла паденія. Въ этомъ случаѣ разрабатывается одинъ этажъ, другой же находится въ періодѣ подготовки. Сѣченіе шахты должно быть настолько велико, чтобы имѣлась возможность сдѣлать особое отдѣленіе, позволяющее при помощи отдѣльной машины производить углубленіе шахты, не дѣлая остановки въ работахъ. Фиг. 6 представляетъ нѣсколько типовъ сѣченія шахтъ, съ отдѣленіемъ для углубленія. Въ случаѣ, если не въ далекомъ разстояніи отъ подъемной шахты расположена вентиляціонная, то подготовку нижняго этажа можно производить при помощи этой послѣдней.

4) Фиг. 4. Шахта углубляется постепенно отъ одного пласта до другого, при чемъ въ разработкѣ находится одновременно 1, 2 или болѣе пластовъ, и въ то же время производится подготовка одного, двухъ или болѣе ниже-лежащихъ пластовъ. Уголь изъ верхнихъ пластовъ спускается въ вагончикахъ на горизонтъ нижняго работающагося пласта или при помощи спеціально для этой цѣли устроенныхъ гезенковъ (фиг. 7), или для этого приспосабливается вентиляціонная шахта, если она находится недалеко отъ подъемной (фиг. 8), или же, наконецъ, подъемная шахта должна быть такихъ размѣровъ, чтобы допускала устройство особаго отдѣленія для установки вертикальнаго спуска вагонетокъ (фиг. 9).

5) Фиг. 5. Представляетъ разработку свиты при помощи наклонной шахты, проведенной перпендикулярно къ плоскости напластованія до пересѣченія съ нижнимъ пластомъ свиты.

Разсмотримъ сначала разработку свитъ съ угломъ паденія α отъ 0^0 до 45^0.

Назовемъ элементами свиты:

h — число пластовъ въ свитѣ,
$a_1, a_2, a_3, \ldots a_{n-1}$ — послѣдовательныя разстоянія между ними,
$p, p_1, p_2, \ldots p_{n-1}$ — производительность пластовъ,
α — уголъ паденія.

Положимъ, что по простиранію можемъ работать поле S саж. Если эту свиту будемъ работать при помощи системы отдѣльныхъ шахтъ на каждый пластъ, то поле по возстанію, открываемое каждой изъ шахтъ при глубинѣ H, будетъ $\frac{H}{\sin\alpha}$ (фиг. 1) и запасъ угля

$$T = S\frac{H}{\sin\alpha}(p + p_1 + \ldots + p_{n-1}) \text{ пудовъ.}$$

Обозначая черезъ k_2 стоимость 1 пог. саж. шахты, получимъ, что затраты на устройство n шахтъ выразятся черезъ

$$P = n\ k_2\ .\ H \text{ рублей.}$$

Тогда погашеніе на 1 пудъ угля выразится черезъ

$$\varphi_n = \frac{P}{T} = \frac{n\ k_2\ H}{\frac{H}{\sin\alpha}\ S\ (p + p_1 + \ldots + p_{n-1})} = \frac{n\ k_2 \sin\alpha}{S\ \Sigma p} \quad \ldots\ldots\ (1)$$

Изъ разсмотрѣнія формулы (1) видимъ, что

1) φ_n увеличивается съ увеличеніемъ угла паденія α, т. е. чѣмъ круче паденіе, тѣмъ дороже разработка отдѣльными шахтами.

2) Чѣмъ больше число пластовъ въ свитѣ n, тѣмъ больше φ_n, т. е. тѣмъ дороже разработка отдѣльными шахтами, если при этомъ Σp не измѣняется.

3) φ_n уменьшается съ увеличеніемъ поля по простиранію S.

4) φ_n уменьшается съ увеличеніемъ производительности пластовъ Σp

5) φ_n не зависитъ отъ глубины шахтъ H.

При разработкѣ этой свиты помощью центральной шахты съ квершлагомъ, обозначая черезъ

k — стоимость 1 пог. саж. шахты
k_1 — „ 1 „ „ квершлага,

получимъ, что стоимость работъ выразится черезъ

$$P = k\ H + k_1\ \frac{a_1 + a_2 + \ldots + a_{n-1}}{\sin\alpha},$$

гдѣ

$$\frac{a_1 + a_2 + \ldots + a_{n-1}}{\sin\alpha} = \frac{\Sigma a}{\sin\alpha}$$

есть длина квершлага (фиг. 2). Эти работы открываютъ намъ въ каждомъ пластѣ поля наклонной высотою $\frac{H}{\sin\alpha}$ съ запасомъ угля во всѣхъ пластахъ свиты

$$T = \frac{H}{\sin\alpha}\ .\ S\ (p + p_1 + \ldots)\ \text{пуд.}$$

Слѣдовательно, погашеніе стоимости вышеуказанныхъ работъ ляжетъ на 1 пудъ

$$\varphi'_q = \frac{P}{T} = \frac{k\ H + k_1\ \frac{a_1 + a_2 + \ldots}{\sin\alpha}}{\frac{H}{\sin\alpha}\ S(\ p + p_1 + \ldots)} = \frac{kH \sin\alpha + k_1\ \Sigma a}{H \times S \times \Sigma p} \quad \ldots\ldots\ (2)$$

Такова будетъ формула для φ'_q, если вентилированіе работъ будетъ производиться при помощи вентиляціонныхъ шурфовъ (отдушниковъ [1]), пробиваемыхъ на каждомъ эксплоатируемомъ пластѣ. Если условія работъ

[1]) Стоимость этихъ послѣднихъ, по незначительности, во вниманіе не принята. Обыкновенно она погашается за счетъ эксплоатаціи.

требуютъ проведенія отдѣльной вентиляціонной шахты глубиною H', стоимость погонной сажени которой $= k_3$, то формула (2) приметъ видъ

$$\varphi_q = \frac{(k\,H + k_3\,H')\,\sin\alpha + k_1\,(\alpha_1 + \alpha_2 + \ldots)}{H \times S \times \Sigma p} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

H' можетъ быть меньше H, если квершлаговъ не менѣе двухъ; тогда воздухъ, поступающій, напр., черезъ подъемную шахту и нижній квершлагъ, поднявшись по работамъ, выйдетъ черезъ верхній квершлагъ и вентиляціонную шахту. Формула для φ_q приметъ тогда видъ:

$$\varphi_q = \frac{(k\,H + k_3\,H')\,\sin\alpha + n_1\,k_1\,(\alpha_1 + \alpha_2 + \ldots)}{H \times S \times \Sigma p} \quad \ldots\ldots (3\text{ bis}),$$

гдѣ $n' = 2$ число квершлаговъ.

При $n' = 1$ будетъ $H = H'$ и

$$\varphi_q = \frac{(k + k_3)\,H\,\sin\alpha + k_1\,(\alpha_1 + \alpha_2 + \ldots)}{H \times S \times \Sigma p} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

или

$$\varphi_q = \frac{1}{S.\,\Sigma p}\left[\left(k + k_3\right)\sin\alpha + \frac{k_1\,\Sigma\alpha}{H}\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{ bis})$$

Въ этомъ послѣднемъ случаѣ квершлагъ, при отсутствіи вентиляціонныхъ шурфовъ на пластахъ, долженъ быть раздѣленъ продольною перемычкою: по одну сторону ея будетъ двигаться воздухъ входящій, по другую—выходящій. Въ присутствіи же шурфовъ перемычка, разумѣется, не нужна. Изъ разсмотрѣнія формулъ (2) и (4) видимъ, что:

1) φ_q увеличивается съ увеличеніемъ угла паденія α, т. е. разработка крутопадающихъ пластовъ дороже, чѣмъ разработка пологопадающихъ.

2) φ_q увеличивается съ увеличеніемъ мощности угленосной толщи $\Sigma\alpha$.

3) φ_q уменьшается съ увеличеніемъ поля по простиранію S.

4) φ_q уменьшается съ увеличеніемъ производительности пластовъ Σp, отъ какой бы причины это увеличеніе ни происходило, т. е. или отъ увеличенія числа пластовъ въ свитѣ n, или отъ большей полезной мощности пластовъ, и

5) φ_q уменьшается съ увеличеніемъ глубины шахты H, т. е. разработка сразу на большую глубину падаетъ сравнительно на 1 пудъ меньшимъ погашеніемъ.

Таблица № 1, иллюстрирующая только что сказанное, вычислена въ предположеніи, что

$k = 1.000$ р.
$k_1 = 200$ „
$k_3 = 600$ „
$S = 1.000$ с.
$\Sigma p = 1.650$ п.

$\Sigma a =$ 10 с.— 50 с.—100 с.
$H =$ 125 „ —200 „

Кромѣ того, чтобы имѣть дѣло съ болѣе крупными цифрами, результатъ увеличенъ въ 1.000.000 разъ, т. е. таблица № 1 даетъ въ рубляхъ погашеніе, при принятыхъ нами данныхъ, на 1.000.000 пудовъ.

ТАБЛИЦА № 1.

	H=125.						H=200.					
	$\sum a$=10		$\sum a$=50		$\sum a$=100		$\sum a$=10		$\sum a$=50		$\sum a$=100	
α^0	φ'_q	φ_q	φ'_q	φ_q	φ'_q	φ_q	φ'_q	φ_q	φ'_q	φ_q	φ'_q	φ_q
5	62	94	101	133	150	181	59	90	83	115	113	145
10	115	178	154	218	203	266	112	175	136	200	166	230
15	167	261	205	300	254	348	163	257	187	281	218	312
20	217	341	256	376	304	428	214	338	238	362	267	391
25	266	420	305	460	353	508	263	416	287	440	317	471
30	313	495	351	533	400	582	309	491	333	515	366	545
35	356	567	396	605	445	654	354	563	378	587	409	617
40	400	633	438	672	487	721	396	630	420	654	450	684
45	436	694	477	733	526	782	435	691	460	716	490	746

При работѣ шахтою съ гезенкомъ, затраты выразятся суммой

$$P = kH + k_3H = (k + k_3)\,H,$$

гдѣ k_3H—стоимость или отдѣльной шахты, напр., вентиляціонной, которой можно воспользоваться для устройства вертикальнаго спуска вагонетокъ, или рядъ гезенковъ съ одного пласта на другой (фиг. 7), роль которыхъ та же, т. е. служить для спуска вагонетокъ и для вентиляціи.

Поля, открываемыя въ данномъ случаѣ въ разныхъ пластахъ свиты, не будутъ равны между собой, какъ въ предыдущемъ случаѣ, при работѣ квершлагами, а будутъ увеличиваться для каждаго нижележащаго пласта.

Обозначимъ черезъ (фиг. 4)

h—глубину шахты до пересѣченія съ 1-мъ пластомъ свиты.

h_1, h_2, h_3 ... h_{n-1}—послѣдовательныя углубленія до 2-го, 3-го и т. д. пластовъ.

Тогда поле 1-го пласта

$$b_1 = \frac{h}{\sin\alpha} \text{ и запасъ угля } t_1 = b_1 Sp = \frac{h}{\sin\alpha} Sp.$$

Для 2-го пласта и т. д. будемъ имѣть

$$b_2 = \frac{h+h_1}{\sin\alpha} \ \ldots \ t_2 = \frac{h+h_1}{\sin\alpha} Sp_1$$

$$b_3 = \frac{h+h_1+h_2}{\sin\alpha} \ \ldots \ t_3 = \frac{h+h_1+h_2}{\sin\alpha} Sp_2$$

$$b_n = \frac{h+h_1+\ldots+h_{n-1}}{\sin\alpha} \ \ldots \ t_n = \frac{h+h_1+h_2+\ldots+h_{n-1}}{\sin\alpha} Sp_{n-1}.$$

Всего

$$\Sigma b = b_1 + b_2 + \ldots = n\frac{h}{\sin\alpha} + (n-1)\frac{h_1}{\sin\alpha} + (n-2)\frac{h_2}{\sin\alpha} + \ldots + \frac{h_{n-1}}{\sin\alpha}$$

и

$$\Sigma t = T = \frac{h}{\sin\alpha}\cdot S.(p + p_1 + \ldots + p_{n-1}) + \frac{h}{\sin\alpha} S(p_1 + p_2 + \ldots + p_{n-1}) +$$

$$+ \frac{h_2}{\sin\alpha} S(p_2 + p_3 + \ldots + p_{n-1}) + \ldots + \frac{h_{n-1}}{\sin\alpha} Sp_{n-1}$$

Изъ фигуры 4 находимъ, что

$$h_1 = \frac{a_1}{\cos\alpha}$$

$$h_2 = \frac{a_2}{\cos\alpha}$$

$$\ldots\ldots\ldots$$

$$h_{n-1} = \frac{a_{n-1}}{\cos\alpha}$$

Подставляя вмѣсто h_1, h_2 ... эти значенія и приводя дробь къ одному знаменателю, находимъ

$$T = \frac{S}{\sin\alpha\cos\alpha}$$

$$[h\cos\alpha\,(p + p_1 + \ldots p_{n-1}) + a_1(p_1 + p_2 + \ldots) + a_2(p_2 + p_3 + \ldots) + \ldots + a_{n-1}p_{n-1}]$$

Такъ какъ $h\cos\alpha = H\cos\alpha - (a_1 + a_2 + \ldots a_{n-1})$, то, подставляя это значеніе вмѣсто $h\cos\alpha$ и сокращая подобные члены, получимъ

$$T = \frac{S}{\sin\alpha\cos\alpha}\left\{H\cos\alpha(p + p_1 + \ldots + p_{n-1}) - \left[a_1 p + a_2(p + p_1) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + a_3(p + p_1 + p_2) + \ldots + a_{n-1}(p + p_1 + \ldots + p_{n-2})\right]\right\}$$

Погашеніе на 1 пудъ угля

$$\varphi_g = \frac{P}{T} =$$

$$= \frac{(k+k_3)\,H\sin\alpha\cos\alpha}{S\{H\cos^2(p+p_1+\ldots+p_{n-1})-[a_1p+a_2(p+p_1)+a_3(p+p_1+p_2)+\ldots+a_{n-1}(p+p_1+\ldots+p_{n-1})]\}} \quad (5)$$

Назвавши для краткости

$$a_1p+a_2(p+p_1)+\ldots+a_{n-1}(p+p_1+\ldots+p_{n-2})$$

черезъ A, получимъ для φ_g выраженіе

$$\varphi_g = \frac{^1/_2(k+k_3)\,H\,.\,\sin 2\alpha}{S\,(H\cos\alpha\,.\,\Sigma p - A)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5\text{ bis})$$

Изслѣдуя формулу (5), видимъ, что $\varphi_g = \infty$, т. е. разработка гезенкомъ стоитъ безконечно дорого, когда знаменатель дроби $= 0$, т. е. когда

$$H\cos\alpha\,(p+p_1+\ldots) = a_1p+a_2(p+p_1)+\ldots+a_{n-1}(p+p_1+\ldots p_{n-2}),$$

или

$$H\cos\alpha\,.\,\Sigma p = A,$$

откуда

$$H = \frac{A}{\Sigma p\,.\,\cos\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Эта послѣдняя формула позволяетъ въ каждомъ данномъ случаѣ вычислить ту предѣльную теоретическую глубину, меньше которой шахта не должна имѣть, чтобы быть эксплоатируемой при помощи гезенковъ. Назовемъ ее черезъ H_g min t.

Практически же, глубина шахты съ гезенкомъ, очевидно, не должна быть меньше $\frac{\Sigma a}{\cos\alpha}$, чтобы имѣть возможность работать всю свиту (фиг. 4). Назовемъ эту минимальную глубину черезъ H_g min. p и будемъ имѣть

$$(H_g)\ \min p = \frac{\Sigma a}{\cos\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6\text{ bis})$$

Пользуясь формулою (5), вычислимъ φ_g при слѣдующихъ данныхъ:

$k = 1.000$ р.
$k_3 = 600$ „
$n = 5$
$S = 1.000$ с.
$H = 125$ „—200 с.

Какъ и въ предыдущемъ случаѣ, полученные для φ_g результаты умножимъ на 1.000.000, и полученное погашеніе капитальныхъ затратъ на 1.000.000 пудовъ расположимъ въ таблицѣ № 2 [1]).

Изъ разсмотрѣнія формулы (5) и иллюстрирующей ее таблицы № 2 видимъ, что

---

[1]) Таблицу № 2 см. на стр. 188.

1) φ_g увеличивается съ увеличеніемъ угла паденія α, т. е. разработка болѣе круто-падающихъ пластовъ обходится дороже, чѣмъ полого-падающихъ.

	a_1	a_2	a_3	a_4	p	p_1	p_2	p_3	p_4	A	Σa
1-й случай . . .	1	2	3	4	500	400	300	250	200	11.700	10
2-й „ . . .	1	2	3	4	200	250	300	400	500	7.900	10
3-й „ . . .	4	3	2	1	500	400	300	250	200	8.550	10
4-й „ . .	4	3	2	1	200	250	300	400	500	4.800	10
5-й „ . . .	5	10	15	20	500	400	300	250	200	58.500	50
6-й „ . . .	5	10	15	20	200	250	300	400	500	39.750	50
7-й „ . . .	35	5	3	2	500	400	300	250	200	28 500	50
8-й „ . . .	35	5	3	2	200	250	300	400	500	13.800	50
9-й „ . . .	10	20	30	40	500	400	300	250	200	117.000	100
10-й „ . .	10	20	30	40	200	250	300	400	500	79.500	100
11-й „ . . .	75	15	7	3	500	400	300	250	200	63.750	100
12-й „ . . .	75	15	7	3	200	250	300	400	500	30.450	100

2) φ_g уменьшается съ увеличеніемъ глубины шахты H [1]), т. е. разработки сразу на большую глубину обходятся сравнительно дешевле.

3) φ_g уменьшается съ увеличеніемъ поля по простиранію S.

4) φ_g уменьшается съ увеличеніемъ частичныхъ p [2]), т. е. съ увеличеніемъ полезной мощности одного или нѣсколькихъ пластовъ, шансы разработки гезенкомъ увеличиваются.

5) φ не зависитъ отъ Σa, т. е. мощности угленосной толщи, но находится въ большей зависимости отъ A [3]): съ увеличеніемъ A и φ_g увеличивается, и наоборотъ. Величина же A зависитъ отъ взаимнаго расположенія и производительности пластовъ: она уменьшается, когда разстоянія отъ верхнихъ пластовъ къ нижнимъ убываютъ, и наоборотъ; также она уменьшается, когда производительность нижнихъ пластовъ больше производительности верхнихъ, и наоборотъ. Слѣдовательно, наиболѣе благопріят-

[1]) При увеличеніи H, напр., въ 2 раза, числитель дроби увеличивается вдвое, знаменатель же больше, чѣмъ вдвое, слѣдовательно, дробь, т. е. φ_g, уменьшится.

[2]) При увеличеніи, напр., p въ 2 раза, уменьшаемое въ знаменаменателѣ дроби увеличится на $pH\cos\alpha$, вычитаемое же, т. е. A, увеличится на $p\,(a_1 + a_2 + \ldots + a_{n-1}) = p \,.\, \Sigma a$, а такъ какъ $H\cos\alpha > \Sigma a$, то, слѣдовательно, разность увеличится; значитъ, знаменатель увеличится, а дробь, т. е. φ_g, уменьшится.

[3]) Напр., въ 12-мъ случаѣ φ_g будетъ меньше, чѣмъ въ 5-мъ или 6-мъ, несмотря на то, что въ 12-мъ случаѣ $\Sigma a = 100$, а въ 5-мъ и 6-мъ $\Sigma a = 50$.

ныя условія для разработки гезенкомъ—это, когда болѣе мощные пласты находятся внизу свиты и когда разстояніе между пластами уменьшается отъ верхнихъ пластовъ къ нижнимъ [1]).

Въ каждомъ данномъ случаѣ, пользуясь вышеуказанными формулами (2), (4) и (5), можно вычислить φ_q и φ_g и изъ сравненія ихъ между собой вывести заключеніе о сравнительной выгодности того или другого способа.

Эти же формулы даютъ намъ возможность вычислить глубины шахтъ, указывающія, до какого предѣла выгодна разработка при помощи одной системы и, слѣдовательно, начиная съ котораго пріобрѣтаетъ преимущества другая. Въ самомъ дѣлѣ: вести разработку центральною шахтою съ квершлагомъ имѣетъ смыслъ только тогда, когда $\varphi_q \leqq \varphi_n$, т. е. когда

$$\frac{k \sin\alpha}{S \cdot \Sigma p} + \frac{k_1 \Sigma a}{H \cdot S \cdot \Sigma p} \leqq \frac{n\, k_2 \sin\alpha}{S \cdot \Sigma p}.$$

Умножая уравненіе на $S\Sigma p$, получимъ

$$\frac{k_1 \Sigma a}{H} = n\, k_2 \sin\alpha - k \sin\alpha = (n\, k_2 - k) \sin\alpha$$

Откуда

$$H \geqq \frac{k_1 \angle a}{(n\, k_2 - k) \sin\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

При необходимости проведенія вентиляціонной шахты будемъ имѣть

$$\frac{k + k_3}{S \Sigma p} \sin\alpha + \frac{k_1 \Sigma a}{H.S.\Sigma p} \leqq \frac{n\, k_2 \sin\alpha}{S \Sigma p}$$

Подобно предыдущему имѣемъ

$$\frac{k_1 \Sigma a}{H} = [n\, k_2 - (k + k_3)] \sin\alpha$$

---

[1]) Въ самомъ дѣлѣ,

$$A = a_1 p + a_2 (p + p_1) + a_3 (p + p_1 + p_2) + \ldots + a_{n-2} (p + p_1 + \ldots + p_{n-3}) + \\ + a_{n-1} (p + p_1 + \ldots + p_{n-2}).$$

При всѣхъ a и p конечныхъ и положительныхъ

$$p < p + p_1 < p + p_1 + p_2 < \ldots < p + p_1 + \ldots + p_{n-3} < p + p_1 + \ldots + p_{n-2}.$$

Minimum суммы A будетъ тогда, когда каждое изъ слагаемыхъ будетъ minimum. Очевидно, что minimum послѣдняго члена будетъ тогда, когда $(p + p_1 + \ldots + p_{n-2})$ умноженъ на наименьшее изъ всѣхъ a; minimum предпослѣдняго члена будетъ тогда, когда $(p + p_1 + \ldots + p_{n-3})$ умноженъ на наименьшее изъ остающихся a и т. д., т. е. minimum A будетъ тогда, когда

$$a_{n-1} < a_{n-2} < \ldots < a_3 < a_2 < a_1.$$

Раскрывая скобки и беря за скобки p, получимъ

$$A = p (a_1 + a_2 + \ldots + a_{n-1}) + p_1 (a_2 + a_3 + \ldots + a_{n-1}) + p_2 (a_3 + a_4 + \ldots + a_{n-1}) + \\ + \ldots + p_{n-2}\, a_{n-1}.$$

Разсуждая точно такимъ же образомъ, получимъ. что A будетъ minimum, когда

$$p < p_1 < p_2 < \ldots$$

и

$$H \gtrless \frac{k_1 \Sigma a}{[n k_2 - (k + k_3)] \sin \alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Точно также ценральная шахта съ гезенкомъ имѣетъ преимущества надъ системой отдѣльныхъ шахтъ только въ томъ случаѣ, когда $\varphi_g \leqq \varphi_n$.

Здѣсь можетъ быть 2 случая: 1) требуется узнать, что выгоднѣе при заданномъ запасѣ угля T, выработать ли его отдѣльными на каждый пластъ шахтами, или одной центральной шахтой съ гезенками; 2) при какой глубинѣ погашеніе капитальныхъ затратъ, при разработкѣ центральной шахтой съ гезенкомъ, меньше такового же, при разработкѣ отдѣльными шахтами.

Запасъ угля, открываемый n отдѣльными шахтами, какъ мы видѣли, при глубинѣ ихъ H_n

$$T_n = \frac{S \,.\, H_n \Sigma p}{\sin\alpha}$$

и центральной шахтой съ газенкомъ

$$T_n = \frac{S}{\sin\alpha \cos\alpha} (H_g \Sigma p \cos\alpha - A).$$

Изъ равенства запасовъ имѣемъ

$$\frac{S \,.\, H_n \Sigma p}{\sin\alpha} = \frac{S}{\sin\alpha \cos\alpha} (H_g \Sigma p \cos\alpha - A).$$

Откуда глубина центральной шахты съ гезенками, открывающей одинаковый запасъ угля, что и n отдѣльныъ шахтъ,

$$H_g = H_n + \frac{S}{\Sigma p \cos\alpha}.$$

Такъ какъ при $\varphi_g = \varphi_n$ и $T_g = T_n$, также и капитальныя затраты $P_g = P_n$, то

$$(k + k_3) H_g = n k_2 H_n$$

или

$$(k + k_3) \,.\, (H_n + \frac{A}{\Sigma p \cos\alpha}) = n k_2 H_n,$$

откуда

$$H_n = \frac{(k + k_3) A}{[n k_2 - (k + k_3)] \Sigma p \cos\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

При рѣшеніи 2-го вопроса, при одинаковой глубинѣ шахты съ гезенкомъ и отдѣльныхъ шахтъ, будемъ имѣть

$$\frac{(k + k_3) H \sin\alpha \cos\alpha}{S (H \Sigma p \cos\alpha - A)} = \frac{n k_2 \sin\alpha}{S \Sigma p},$$

откуда

$$H = \frac{n k_2 A}{[n k - (k + k_3)] \Sigma p \cos\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (9 \text{ bis})$$

Изъ полученныхъ для H формулъ (7) и (8) можно въ каждомъ данномъ случаѣ опредѣлить ту глубину, начиная съ которой становится болѣе выгодно работать, пересѣкая изъ одной шахты квершлагомъ всѣ пласты, или, что то же,—глубину, до которой выгоднѣе работать системою отдѣльныхъ на каждый пластъ шахтъ.

Формула (9) даетъ то же самое для шахтъ съ гезенкомъ, открывающихъ такой же запасъ угля, какъ и n отдѣльныхъ шахтъ, а формула (9 bis)—для шахтъ съ гезенкомъ, имѣющихъ одинаковую глубину съ отдѣльными шахтами, но открывающихъ меньшій запасъ угля.

Для примѣра примемъ слѣдующія значенія:

$$k = 1.000 \text{ р.}$$
$$k_2 = 400 \text{ „}$$
$$k_1 = 200 \text{ „}$$
$$k_3 = 600 \text{ „}$$
$$n = 5 \text{ и } = 10.$$
$$a_1 + a_2 + \ldots = \Sigma a = 10 \text{ с.}$$
$$a_1 + a_2 + \ldots = \Sigma a = 50 \text{ „}$$
$$a_1 + a_2 + \ldots = \Sigma a = 100 \text{ „}$$

и вычислимъ H по формуламъ (7) и (8) при различныхъ углахъ паденія α отъ 0^0 до 45^0. Полученныя значенія для H расположимъ въ таблицѣ № 3 [1]).

Изъ формулъ (7) и (8) для H и таблицы № 3, мы усматриваемъ, что:

1) Чѣмъ больше уголъ паденія, тѣмъ меньше предѣльная глубина шахтъ, съ которой центральная шахта и квершлагъ имѣютъ преимущество надъ системой отдѣльныхъ шахтъ, т. е. тѣмъ больше шансовъ имѣетъ центральная шахта съ квершлагомъ.

2) Съ увеличеніемъ Σa, т. е. мощности угленосной толщи, увеличивается и предѣльная глубина шахтъ, т. е. тѣмъ больше шансовъ за системой отдѣльныхъ шахтъ.

3) Съ увеличеніемъ числа рабочихъ пластовъ въ толщѣ, n — предѣльная глубина шахтъ—уменьшается, т. е. увеличиваются шансы центральной шахты.

При вычисленіи H по формулѣ (9), примемъ тѣ же данныя, что и при составленіи таблицы № 2; кромѣ того, при $n = 10$, примемъ слѣдующія данныя (стр. 184):

Полученные результаты расположимъ въ таблицѣ № 4 [2]).

Изъ формулы (9) и таблицы № 4 видимъ, что

1) Съ увеличеніемъ угла паденія α, предѣльная глубина шахтъ уве-

---

[1]) Таблицу № 3 см. на стр. 190.

[2]) См. стр. 186.

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	$\sum_a$	p_1
2	4	4	5	5	6	7	8	9	50	200
2	4	4	5	5	6	7	8	9	50	140
9	8	7	6	5	5	4	4	2	50	200
9	8	7	6	5	5	4	4	2	50	140
6	7	8	9	10	12	14	16	18	100	200
6	7	8	9	10	12	14	16	18	100	140
18	16	14	12	10	9	8	7	6	100	200
18	16	14	12	10	9	8	7	6	100	140
2	2	2	2	2	2	2	2	84	100	200

p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	$\sum_p$	A
190	180	170	160	155	155	150	150	140	1.650	51.710
150	150	155	155	160	170	180	190	200	1.650	46.075
190	180	170	160	155	155	150	150	140	1.650	36.425
150	150	155	155	160	170	180	190	200	1.650	30.790
190	180	170	160	155	155	150	150	140	1.650	102.670
150	150	155	155	160	170	180	190	200	1.650	91.545
190	180	170	160	155	155	150	150	140	1.650	73.455
150	150	155	155	160	170	180	190	200	1.650	62.310
190	180	170	160	155	155	150	150	140	1.650	139.690

личивается, т. е. чѣмъ больше уголъ паденія, тѣмъ больше шансы разработки системою отдѣльныхъ шахтъ.

2) Съ увеличеніемъ мощности нижнихъ пластовъ, предѣльная глубина шахтъ H уменьшается, слѣдовательно, увеличиваются шансы разработки свиты помощью центральной шахты съ гезенкомъ; съ увеличеніемъ же мощности верхнихъ пластовъ, она увеличивается, слѣдовательно, шансы гезенка уменьшаются [1]).

[1]) Въ самомъ дѣлѣ, предположимъ, что мощность самаго нижняго пласта p_{n-1} увеличилась вдвое. Тогда знаменатель дроби увеличится, числитель же останется безъ перемѣны, такъ какъ p_{n-1} въ него не входитъ. Значитъ, дробь, т. е. H, уменьшится. Начнемъ увеличивать послѣдовательно всѣ p вдвое, начиная снизу. Когда всѣ p удвоятся, то Σp

3) Съ увеличеніемъ числа пластовъ въ свитѣ n, если при этомъ Σa и Σp остаются безъ измѣненія, предѣльная глубина шахтъ уменьшается, т. е. возрастаютъ шансы разработки свиты центральною шахтою съ гезенкомъ [1]).

4) Съ увеличеніемъ A, зависящимъ отъ взаимнаго расположенія пластовъ, предѣльная глубина шахтъ увеличивается, и наоборотъ. Слѣдовательно, при A minimum (что соотвѣтствуетъ, какъ мы видѣли выше, тому случаю, когда наиболѣе мощные пласты находятся внизу свиты, и разстояніе отъ верхнихъ пластовъ къ нижнимъ убываетъ), глубина шахты будетъ меньше, и тѣмъ, слѣдовательно, съ меньшей глубины центральная шахта съ гезенкомъ пріобрѣтаетъ преимущества надъ системой отдѣльныхъ шахтъ.

Таблица № 4bis [2]), вычисленная по формулѣ (9bis), служитъ ей поясненіемъ. Въ виду того, что формула (9bis) отличается отъ формулы (9) только тѣмъ, что въ числителѣ ея вмѣсто $(k+k_3)$ стоитъ nk_2, всѣ выводы, сдѣланные нами на основаніи формулы (9), примѣнимы и къ данному случаю, за исключеніемъ лишь пункта 3): такъ какъ n входитъ въ составъ числителя, то при измѣненіи n можетъ случиться, что предѣльная глубина H не уменьшится, а увеличится, что мы и видимъ на таблицѣ № 4bis, гдѣ, напримѣръ, при $n=5$, $\Sigma p=1.650$, $\Sigma a=50$ и $A=13.800$, H меньше, чѣмъ при $n=10$, $\Sigma p=1.650$, $\Sigma a=50$ и $A=51.710$ или при $n=5$, $\Sigma p=1.650$, $\Sigma a=100$ и $A=30.450$, H меньше, чѣмъ при $n=10$, $\Sigma p=1.650$, $\Sigma a=100$ и $A=102.670$ и 91.545.

Формулою (9bis) придется пользоваться въ тѣхъ случаяхъ, когда при концессіяхъ 2-го типа возникаетъ вопросъ, что будетъ выгоднѣе при разработкѣ свиты на глубинѣ, опредѣляемой условіями аренднаго договора, отдѣльныя шахты или центральная шахта съ гезенкомъ?

Къ этому вопросу мы еще вернемся ниже, при разборѣ различныхъ примѣровъ.

Если свита состоитъ изъ отдѣльныхъ группъ пластовъ, какъ, напримѣръ, на фиг. 10, то формулы (7), (8), (9) и (9bis) можно примѣнить какъ ко всей свитѣ, такъ и къ каждой отдѣльной группѣ, что даетъ намъ возможность найти предѣльную глубину какъ отдѣльныхъ для каждой группы шахтъ, такъ и одной центральной для всей свиты.

обратится въ $2\Sigma p$ и A въ $2A$, а дробь снова приметъ первоначальную свою величину. Теперь въ полученной дроби замѣнимъ $2p_{n-1}$ черезъ p_{n-1}. Такъ какъ p_{n-1} входитъ только въ знаменатель, то этотъ послѣдній уменьшится, а дробь, т. е. H, увеличится. Начнемъ постепенно уменьшать вдвое всѣ p, начиная снизу. Когда всѣ будутъ уменьшены, дробь приметъ свой первоначальный видъ; но такъ какъ при такомъ измѣненіи мы будемъ имѣть прежніе p_{n-1}, p_{n-2} . . . и увеличенные p, p_1 . . . , то и будемъ въ правѣ сдѣлать указанный выводъ.

[1]) Съ увеличеніемъ n, увеличивается и A, но при Σa и Σp постоянныхъ, знаменатель увеличивается больше, чѣмъ числитель, а слѣдовательно дробь, т. е. H, уменьшается.

[2]) См. стр. 187.

ТАБЛИЦА № 4.

α^0	$n = 5$												$n = 10$								
	$\sum a = 10$				$\sum a = 50$				$\sum a = 100$				$\sum a = 50$				$\sum a = 100$				
	$A = 11.700$	$A = 7.950$	$A = 8.550$	$A = 4.800$	$A = 58.500$	$A = 39.750$	$A = 28.500$	$A = 13.800$	$A = 117.000$	$A = 79.500$	$A = 63.750$	$A = 30.450$	$A = 51.710$	$A = 46.075$	$A = 36.425$	$A = 30.790$	$A = 102.670$	$A = 91.545$	$A = 73.455$	$A = 62.310$	$A = 139.690$
5	28,4	19,3	20,8	11,7	142,0	96,8	68,8	33,6	284,0	193,0	155,0	74,1	21,0	18,7	14,8	12,5	41,7	37,1	29,8	25,3	56,7
10	28,8	19,5	21,0	11,8	144,0	97,5	70,1	34,0	288,0	195,0	156,8	75,4	21,2	18,9	15,0	12,6	42,1	37,6	30,1	25,6	57,3
15	29,3	19,9	21,5	12,0	146,5	99,5	71,5	34,7	293,0	199,0	160,0	76,5	21,7	19,3	15,2	12,9	43,0	38,3	30,7	26,1	58,4
20	30,2	20,6	22,1	12,4	151,2	102,8	73,5	35,6	302,5	205,0	164,5	78,8	22,2	19,8	15,7	13,2	44,1	39,4	31,6	26,8	60,0
25	31,3	21,3	22,9	12,8	156,5	106,5	76,2	36,9	313,0	213,0	170,5	81,6	23,1	20,6	16,2	13,7	45,8	40,8	32,8	27,8	62,3
30	32,8	22,3	23,9	13,5	164,0	111,5	80,0	38,6	328,0	223,0	178,3	85,3	24,1	21,5	17,0	14,4	47,9	42,7	34,3	29,1	65,2
35	33,5	23,6	25,3	14,2	167,2	118,0	84,5	40,9	334,5	236,0	188,8	90,4	25,5	22,7	18,0	15,2	50,6	45,2	36,2	30,7	68,9
40	37,0	25,1	27,0	15,2	184,7	125,5	90,1	43,6	369,5	251,0	201,6	96,5	27,3	24,3	19,2	16,2	54,2	48,3	38,8	32,3	73,7
45	40,1	27,3	29,4	16,5	200,8	136,5	97,8	47,3	401,6	273,0	218,9	104,8	29,6	26,3	20,8	17,6	58,7	52,3	42,0	35,6	79,8

ТАБЛИЦА № 4 bis.

α^0	$n = 5$												$n = 10$							
	$\sum a = 10$				$\sum a = 50$				$\sum a = 100$				$\sum a = 50$				$\sum a = 100$			
	$A = 11.700$	$A = 7.950$	$A = 8.550$	$A = 4.800$	$A = 58.500$	$A = 39.750$	$A = 28.500$	$A = 13.800$	$A = 117.000$	$A = 79.500$	$A = 63.750$	$A = 30.450$	$A = 51.710$	$A = 46.075$	$A = 36.425$	$A = 30.790$	$A = 102.670$	$A = 91.545$	$A = 73.455$	$A = 62.310$	$A = 139.690$
5	35,5	24,2	26,0	14,6	177,5	121,0	86,0	42,0	355,0	242,0	193,8	92,7	52,5	47,0	37,0	31,2	104,2	92,8	74,5	63,2	141,8
10	36,0	24,4	26,3	14,8	180,0	122,0	87,7	42,5	360,0	244,0	196,0	94,2	53,0	47,2	37,5	31,5	105,2	94,0	75,2	64,0	144,2
15	36,6	24,9	26,8	15,0	183,0	124,5	89,3	43,3	366,0	249,0	200,0	95,7	54,2	48,2	38,0	32,2	107,5	96,0	77,0	65,2	146,0
20	37,8	25,7	27,6	15,5	189,0	128,5	91,9	44,5	378,0	257,0	205,6	98,5	55,5	49,5	39,2	33,0	110,2	98,5	79,0	67,0	150,0
25	39,1	26,6	28,6	16,0	195,5	133,0	95,3	46,1	391,0	266,0	213,2	102,0	57,8	51,5	40,5	34,2	114,5	102,0	82,0	69,5	156,0
30	41,0	27,9	29,8	16,8	205,0	139,5	100,0	48,2	410,0	279,0	222,9	106,7	60,2	54,0	42,5	36,0	119,8	107,0	86,0	72,8	163,0
35	41,8	29,5	31,7	17,8	209,0	147,5	105,6	51,1	418,0	295,9	236,0	113,0	64,0	56,8	45,0	38,0	126,5	113,0	90,5	77,0	172,2
40	46,2	31,4	33,8	19,0	231,0	157,0	112,6	54,5	462,0	314,0	252,0	120,6	68,2	60,8	48,2	40,5	135,5	120,8	97,0	80,8	184,2
45	50,2	34,1	36,7	20,6	251,0	170,5	122,3	59,2	502,0	341,0	273,6	131,0	74,0	66,0	52,0	44,0	147,0	130,8	105,0	89,0	199,5

ТАБЛИЦА № 2.

α^0	$H = 125$												$H = 200$											
	$\sum a = 10$				$\sum a = 50$				$\sum a = 100$				$\sum a = 10$				$\sum a = 50$				$\sum a = 100$			
	$A = 11.700$	$A = 7.950$	$A = 8.550$	$A = 4.800$	$A = 58.500$	$A = 39.750$	$A = 28.500$	$A = 13.800$	$A = 117.000$	$A = 79.500$	$A = 63.750$	$A = 30.450$	$A = 11.700$	$A = 7.950$	$A = 8.550$	$A = 4.800$	$A = 58.500$	$A = 39.750$	$A = 28.500$	$A = 13.800$	$A = 117.000$	$A = 79.500$	$A = 63.750$	$A = 30.450$
5	89	87	88	86	117	104	98	90	200	141	125	100	87	86	86	85	102	96	92	88	131	111	105	93
10	179	175	176	173	244	209	196	181	399	277	246	196	175	173	173	171	205	192	185	176	263	223	209	186
15	267	261	262	257	356	313	293	269	608	418	369	292	260	257	258	255	308	287	276	262	396	335	314	278
20	353	346	347	340	475	417	389	357	837	562	494	388	344	340	341	337	408	380	365	347	532	447	418	368
25	438	428	429	421	597	521	484	442	1.098	714	623	484	427	421	422	416	509	473	453	431	674	559	521	457
30	519	508	509	498	721	623	578	525	1.406	874	754	577	505	498	499	493	609	563	538	509	821	672	624	542
35	600	584	585	573	851	727	669	606	1.811	1.052	893	669	582	573	575	567	710	652	622	586	981	789	728	627
40	673	657	659	643	990	833	760	682	2.400	1.255	1.044	760	654	644	646	636	811	740	703	659	1.161	911	834	709
45	735	715	717	699	1.119	925	838	745	3.245	1.463	1.189	837	723	709	711	700	914	825	780	728	1.375	1.041	943	788

Теперь сравнимъ между собою случаи эксплоатаціи свиты помощью шахты съ квершлагомъ и шахты съ гезенкомъ.

Вопросъ здѣсь можетъ быть поставленъ двоякимъ образомъ:

1) Требуется задать шахту съ такою-то продуктивностью въ теченіе столькихъ-то лѣтъ (т. е. задается запасъ угля); спрашивается, что будетъ выгоднѣе: задать ли шахту глубиною H_q, (открывающую требуемый запасъ угля) и пересѣчь свиту квершлагомъ, или задать шахту глубиною $H_g > H_q$. (открывающую такой же запасъ угля) и работать гезенками?

2) По даннымъ элементамъ свиты опредѣлить ту глубину, до которой выгода разработки лежитъ на сторонѣ того или другого способа (квершлага или гезенка).

Разсмотримъ сначала первый вопросъ (фиг. 11).

По предыдущему имѣемъ, что шахта глубиною H_q съ квершлагомъ откроетъ запасъ угля

$$T_q = S.\ \Sigma p\ \frac{H_q}{\sin\alpha}\ \text{пудовъ},$$

шахта H_g съ гезенкомъ откроетъ

$$T_g = \frac{S\,[\Sigma p.\ H_g.\ \cos\alpha - A]}{\sin\alpha\ \cos\alpha}\ \text{пудовъ}.$$

Такъ какъ мы принимаемъ запасы въ обоихъ случаяхъ равными, то

$$\frac{S.\ \Sigma p\ H_q}{\sin\alpha} = \frac{S\ (\Sigma p\ H_g\ \cos\alpha - A)}{\sin\alpha\ \cos\alpha}$$

Откуда

$$H_g - H_q = \frac{A}{\Sigma p\ \cos\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ (10)$$

Для даннаго случая формулы (4) и (5) примутъ видъ:

$$\varphi_q = \frac{k + k_2}{S\ \Sigma p}\ \sin\alpha + \frac{k_1\ \Sigma a}{H_q\ S\ \Sigma p} \quad \ldots\ldots\ldots\ (4)$$

$$\varphi_g = \frac{(k + k_3)\ H_g\ \sin\alpha\ \cos\alpha}{S\ (\Sigma p\ H_g\ \cos\alpha - A)} \quad \ldots\ldots\ldots\ (5)$$

Подставляя въ формулу (5) вмѣсто H_g его значеніе изъ формулы (10), получимъ:

$$\varphi_g = \frac{(k + k_3)\ \sin\alpha\ \cos\alpha\ \left(H_q + \frac{A}{\Sigma p\ \cos\alpha}\right)}{S\ \left[\Sigma p\ \cos\alpha\ \left(H_q + \frac{A}{\Sigma p\ \cos\alpha}\right) - A\right]}$$

Раскрывая скобки, получимъ:

$$\varphi_q = \frac{H_q\ (k + k_3)\ \sin\alpha\ \cos\alpha + \frac{k + k_3}{\Sigma p} A\ \sin\alpha}{S\ (H_q\ \Sigma p\ \cos\alpha + A - A)}$$

или

$$\varphi_g = \frac{1}{S}\left(\frac{k + k_3}{\Sigma p}\ \sin\alpha + \frac{k + k_3}{\Sigma p}\ \sin\alpha\ \frac{A}{H_q\ \Sigma p\ \cos\alpha}\right)$$

наконецъ,

$$\varphi_g = \frac{1}{S}\,\frac{k+k_3}{\Sigma p}\,\sin\alpha\left(1+\frac{A}{H_q\ \Sigma p\ \cos\alpha}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5\ bis)$$

При $\alpha = 0^0$.

$$\varphi_q = \frac{k_1\ \Sigma a}{H_q\ S\ \Sigma p} \text{ и } \varphi_g = 0,$$

т. е. $\varphi_g < \varphi_q$ и преимущество лежитъ на сторонѣ гезенка.

При $\alpha = 90^0$

$$\varphi_q = \frac{k+k_3}{S\ \Sigma p} + \frac{k_1\ \Sigma a}{H_q\ S\ \Sigma p} \text{ и } \varphi_g = \infty,$$

т. е. $\varphi_g > \varphi_q$ и преимущество лежитъ на сторонѣ квершлага. При измѣненіи α отъ 0^0 до 90^0 есть, слѣдовательно, такой уголъ, до котораго выгоднѣе работать гезенкомъ, и начиная съ котораго выгоды переходятъ на сторону квершлаговъ. Такъ какъ при этомъ углѣ φ_g будетъ $= \varphi_q$, то онъ и опредѣлится изъ уравненія

$$\frac{k+k_3}{S\ \Sigma p}\sin\alpha + \frac{k_1\ \Sigma a}{H_g\ S\ \Sigma p} = \frac{k+k_3}{S\ \Sigma p}\sin\alpha\ (1+\frac{A}{H_q\ \Sigma p\ \cos a}).$$

Произведя необходимыя дѣйствія, найдемъ, что

$$\operatorname{tg}\alpha = \Sigma p\ \frac{k_1}{k+k_3}\cdot\frac{\Sigma a}{A} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

ТАБЛИЦА № 3.

α^0	$n = 5$						$n = 10$					
	$\sum a = 10$		$\sum a = 50$		$\sum a = 100$		$\sum a = 10$		$\sum a = 50$		$\sum a = 100$	
	H (7)	H (8)	H (7)	H (8)	H (7)	H (8)	H (7)	H (8)	H (7)	H (8)	H (7)	H (8)
5	23,00	57,5	115	287,5	230	575	7,70	9,58	35	47,90	77,0	95,8
10	11,50	28,75	57,5	143,75	115	287,5	3,50	4,80	19,17	24,00	35,0	48,0
15	7,72	19,3	38,6	96,5	77,20	193	2,57	3,21	12,9	16,05	25,7	32,1
20	5,84	14,6	29,2	73,0	58,4	146	1,95	2,43	9,73	12,15	19,5	24,3
25	4,72	11,8	23,6	59,0	47,2	118	1,57	1,96	7,90	9,80	15,7	19,6
30	4,00	10,0	20,0	50,0	40,00	100	1,33	1,66	6,70	8,30	13,3	16,6
35	3,48	8,7	17,4	43,5	34,8	87	1,16	1,45	5,80	7,25	11,6	14,5
40	3,10	7,75	15,5	38,75	31,0	77,5	1,03	1,3	5,17	6,5	10,3	13,0
45	2,84	7,1	14,2	35,5	28,4	71	0,95	1,2	4,73	6,0	9,5	12,0

Или

$$\alpha^0 = arc.\ tg\ \Sigma p\ \frac{k_1}{k+k_3} \cdot \frac{\Sigma a}{A} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Уголъ α, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, можетъ быть малъ или великъ.

Такъ, напримѣръ, при

$\Sigma p =$ 1.650	$\Sigma p =$ 1.650
$\Sigma a =$ 50	$\Sigma a =$ 50
$A =$ 39.750	$A =$ 13.800
$k_1 =$ 200	$k_1 =$ 200
$k+k_3 =$ 1.600	$k+k_3 =$ 1.600

получимъ

$$tg\ \alpha = 0,\ 259 \qquad tg = 1,\ 121.$$

и

$$\alpha = 14^0\ 31' \qquad \alpha = 48^0\ 16',$$

т. е въ первомъ случаѣ квершлагъ уже выгоденъ при паденіи 15°, а во второмъ онъ невыгоденъ даже при паденіи 45°.

Такимъ образомъ въ этомъ случаѣ вопросъ рѣшается въ высшей степени легко:

Если уголъ паденія данной свиты больше α, вычисленнаго по формулѣ (12), то квершлагъ выгоднѣе, и глубина шахты опредѣляется изъ формулы

$$H_q = \frac{T}{S\ \Sigma p} \sin\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Если же этотъ уголъ меньше α, то выгоднѣе гезенкъ, и глубина шахты будетъ

$$H_g = \frac{T}{S\ \Sigma p} \sin\alpha + \frac{A}{\Sigma p \cos\alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Переходимъ теперь ко 2-му вопросу.

Когда на первомъ планѣ стоитъ глубина шахты и не столь важно вынуть изъ нея именно запасъ угля T, т. е. когда вопросъ стоитъ о разработкѣ только до извѣстной глубины, то формулы (4) и (5) даютъ намъ возможность опредѣлить ту глубину шахты, при которой $\varphi_g = \varphi_q$; дѣйствительно, если

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{(k+k_3)\ H \sin\alpha \cos\alpha}{\Sigma p H \cos\alpha - A} = \frac{1}{S} \frac{(k+k_3)\ H \sin\alpha + k_1 \Sigma a}{\Sigma p.\ H.}$$

то, сокращая на S и приводя къ одному знаменателю, получимъ:

$$(k+k_3)\ H \sin\alpha\ .\ \cos\alpha\ .\ \Sigma p H = (k+k_3)\ H \sin\alpha\ \Sigma p H \cos\alpha + \\ + k_1 \Sigma a\ .\ A + k_1\ .\ \Sigma a\ .\ \Sigma p H \cos\alpha - (k+k_3) H \sin\alpha\ .\ A$$

Сокращая подобные члены и вынося H за скобки, будемъ имѣть

$$H[\Sigma pk_1 . \Sigma a\cos\alpha \ldots\ldots\ldots -(k+k_3) A . \sin\alpha] = k_1 \Sigma a . A,$$

откуда

$$H = \frac{k_1 \Sigma a . A}{\Sigma p . k_1 \Sigma a \cos\alpha - (k+k_3) A \sin\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

Не трудно видѣть изъ этой формулы, что для полученія возможнаго значенія для H, необходимо, чтобы знаменатель дроби былъ > 0; при знаменателѣ $\leqslant 0$, значеніе для $H = \infty$ и отрицательное, т. е. невозможное.

Этотъ послѣдній случай даетъ намъ возможность вычислить предѣльный уголъ, при которомъ получаются возможныя значенія для H.

Въ самомъ дѣлѣ, если

$$\Sigma p . k_1 + \Sigma a . \cos\alpha - (k+k_3) . A \sin\alpha \gtrless 0$$

то

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Sigma pk_1}{(k+k_3)} \cdot \frac{\Sigma a}{A} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

Полученное выраженіе для $\operatorname{tg}\alpha$ есть то же самое, которое мы уже имѣли выше для предѣльнаго угла, за которомъ начинаются преимущества квершлаговъ.

Это намъ показываетъ, что формула (13) примѣнима только къ тѣмъ случаямъ, когда имѣемъ дѣло съ угломъ паденія, меньшимъ предѣльнаго угла, и когда она даетъ намъ возможность рѣшить вопросъ о выгодности разработки свиты пластовъ при помощи той или другой системы.

При одинаковой глубинѣ шахтъ H_g и H_q, очевидно, запасъ угля открываемый послѣднею, т. е. T_q, будетъ больше, чѣмъ T_g. Такимъ образомъ, въ случаѣ, если годовая производительность шахты H_g меньше, чѣмъ шахты H_q, или если время существованія ихъ одинаково, то производительность шахты съ гезенкомъ H_g меньше, чѣмъ съ квершлагомъ H_q.

Изъ формулы (13) видимъ, что

1) Предѣльная глубина, при которой шахта съ гезенкомъ пріобрѣтаетъ преимущества передъ шахтою съ квершлагомъ, H увеличивается при увеличеніи угла паденія α; такъ какъ при этомъ $\cos\alpha$ уменьшается, слѣдовательно, уменьшаемое уменьшается, а $\sin\alpha$ увеличивается, слѣдовательно, и вычитаемое увеличивается, то разность, т. е. знаменатель, уменьшается, а вся дробь увеличивается. Такимъ образомъ, чѣмъ круче паденіе, при всѣхъ остальныхъ данныхъ постоянныхъ, тѣмъ съ большей глубины шахта съ гезенкомъ пріобрѣтаетъ преимущества надъ шахтой съ квершлагомъ.

2) H уменьшается съ уменьшеніемъ A, зависящимъ отъ взаимнаго расположенія пластовъ, т. к. при этомъ числитель уменьшается, а знаменатель увеличивается, вслѣдствіе уменьшенія вычитаемаго. Слѣдовательно, въ случаяхъ вообще благопріятныхъ для шахтъ съ гезенками, онѣ пріі-

обрѣтаютъ преимущества надъ шахтами съ квершлагомъ, начиная съ меньшей глубины.

3) H уменьшается, т. е. шахта съ гезенкомъ пріобрѣтаетъ преимущества надъ шахтою съ квершлагомъ съ меньшей глубины, при увеличеніи мощности нижнихъ пластовъ, и наоборотъ [1])

4) При измѣненіи мощности угленосной толщи Σa, измѣняется также и A, а потому нельзя вывести зависимость измѣненія H отъ измѣненія Σa, какъ и увидимъ ниже въ таблицѣ № 5.

Предположимъ, что мы имѣемъ свиту съ угломъ паденія $= \beta^0$

Опредѣливши при помощи формулы (11) опредѣленный уголъ, при которомъ получаются возможныя значенія для H, можемъ получить, что 1) $\alpha \leqq \beta$ и 2) $\alpha > \beta$.

Въ 1-мъ случаѣ, для H получатся значенія $= \infty$ и отрицательное, т. е. невозможнее. Это покажетъ намъ, что при углѣ паденія β разработка гезенкомъ невыгодна и слѣдуетъ отдать предпочтеніе квершлагу при всякой глубинѣ шахты.

Во 2-мъ случаѣ, когда β окажется меньше α, для H получится значеніе возможное, и вычисленная для него по формулѣ (13) величина будетъ служить указаніемъ, до какой глубины выгоднѣе будетъ разрабатывать свиту квершлагомъ.

Таблица № 5, составленная для H формулы (13) при тѣхъ же данныхъ, что и таблицы № 2 и 4, иллюстрируетъ сказанное [2]).

Если имѣемъ, напримѣръ, $\Sigma a = 50$, $A = 28.500$ и $\alpha = 15^0$, и закладываетъ центральную шахту на 100 с. глубины, то изъ таблицы № 5 видимъ, что слѣдуетъ предпочесть гезенкъ, ибо уже при глубинѣ большей 68,8 с. преимущества лежатъ на сторонѣ гезенка. Если же имѣемъ $\Sigma a = 100$, $A = 63.750$ и $\alpha = 15^0$, и желаемъ работать шахтою въ 150 с. глубины, то придется выбрать шахту съ квершлагомъ, ибо изъ той же таблицы усматриваемъ, что лишь при глубинѣ большей 229,3 саж. гезенкъ имѣетъ преимущества передъ квершлагомъ.

Такимъ образомъ, если при составленіи проекта разработки даннаго мѣсторожденія, мы задаемся глубиною шахты, меньшею найденной изъ формулы (13), то предпочтеніе надо будетъ отдать квершлагу, ибо при этомъ будетъ $\varphi_q < \varphi$, и наоборотъ, если заданная глубина шахты будетъ больше H, вычисленнаго по формулѣ (13), всѣ шансы будутъ на сторонѣ гезенка, ибо φ_g будетъ $< \varphi_q$.

Таблица № 6 служитъ иллюстраціей къ только что сказанному.

Положимъ, что

$$\Sigma a = 100$$
$$A = 30.450$$
$$\Sigma p = 1.650$$

[1]) Доказательство, какъ въ случаѣ φ_g (стр. 181).

[2]) Таблицу № 5 см. на стр. 194.

ТАБЛИЦА № 5.

α^0	$\sum a = 10$				$\sum a = 50$				$\sum a = 100$			
	A=11.700	A=7.950	A=8.550	A=4.800	A=58.500	A=39.750	A=28.500	A=13.800	A=117.000	A=79.500	A=63.750	A=30.470
5	14,0	7,3	8,1	3,6	70,0	36,5	22,8	9,5	140,0	73,0	53,8	21,3
10	∞	15,3	19,6	5,0	∞	76,5	34,3	11,1	∞	153,0	87,9	25,4
15		∞	∞	8,0			68,8	13,5		∞	229,3	31,6
20				20,2				17,3			∞	42,4
25				∞				24,6				65,4
30								42,3				144,6
35								166,2				∞
40								∞				
45												

Примѣчаніе. Съ приближеніемъ къ предѣльному углу, глубина шахты H быстро увеличивается и при предѣльномъ углѣ $H = \infty$ $tg\alpha$, вычисленный по формулѣ (11), будетъ $= 0{,}677$ и $< \alpha = 34^0\ 07'$. Таблица № 6 вычислена для различныхъ H, въ предположеніи, что $\beta = 30^0$, т. е. $< \alpha$

ТАБЛИЦА № 6.

H	$\beta = 30^0$	
	φ_g	φ_q
100	616	606
144,6	569	569
200	543	545

Глубина шахты H, вычисленная по формулѣ (13), при $\beta = 30^0$ будетъ $= 144{,}6$ саж. Изъ таблицы № 6 усматриваемъ, что при этой глубинѣ $\varphi_g = \varphi_q$, что и должно имѣть мѣсто; при глубинѣ шахты меньшей 144,6 с. $\varphi_q > \varphi_g$, при глубинѣ же ея большей 144,6 с. $\varphi_q > \varphi_g$.

Сравнивая между собою полученные результаты, мы видимъ, что существуютъ случаи, когда при пологомъ паденіи выгодно бываетъ проводить квершлаги, и наоборотъ, въ другихъ случаяхъ и сравнительно крутое паденіе не служитъ еще доказательствомъ выгодности ихъ.

Приступая къ разработкѣ какого-либо мѣсторожденія, нужно, руководствуясь формулой (11), опредѣлить прежде всего уголъ α, при которомъ возможна работа гезенками. Если уголъ паденія данной свиты $\beta \geqq \alpha$, то, имѣя въ виду сказанное выше, выводимъ заключеніе, что данная свита должна быть эксплоатируема помощью квершлага; тогда по формулѣ (7) или (8) опредѣляемъ ту глубину, до которой выгоднѣе работать системою отдѣльныхъ шахтъ. Зная эту глубину, легко опредѣлить запасъ угля, который открывается этими шахтами. Если концессія недолгосрочная и открываемаго запаса достаточно, то, слѣдовательно, работа системою отдѣльныхъ шахтъ будетъ въ данномъ случаѣ самая выгодная. Если же запасъ, открываемый найденной изъ формулы (7) или (8) глубиною недостаточенъ, т. е. имѣется необходимость работать болѣе глубокіе горизонты, то выводимъ заключеніе о преимуществѣ центральной шахты съ квершлагомъ надъ системою отдѣльныхъ шахтъ, и задавшись продуктивностью шахты, глубину ея опредѣляемъ изъ формулы (14).

Если $\beta < \alpha$, выводимъ заключеніе о примѣнимости гезенковъ. По формулѣ (9) опредѣляемъ ту глубину, до которой выгоднѣе работать отдѣльными шахтами. Если глубина та открываетъ, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, достаточный запасъ угля, то останавливаемся на системѣ отдѣльныхъ шахтъ; если же запасъ угля недостаточенъ, то заключаемъ, что работа центральною шахтою будетъ выгоднѣе. Если концессія не принадлежитъ ко 2-му типу, т. е. если право разработки не ограничено извѣстной глубиной, то дѣлаемъ выводъ, что шахта съ гезенкомъ имѣетъ болѣе шансовъ и, задавшись продуктивностью ея, опредѣляемъ глубину ея изъ формулы (15). Если же имѣемъ дѣло съ концессіей 2-го типа, то о примѣнимости той или другой системы работъ дѣлаемъ выводъ на основаніи формулъ (9 bis) и (13). Положимъ, что имѣемъ право разрабатывать мѣсторожденіе до глубины H'.

Опредѣлимъ H изъ формулъ (9 bis) и (13) и обозначимъ ихъ черезъ H (9 bis) и H (13). Если $H' > H$ (9 bis) и H (13), то это будетъ указывать на тотъ случай, когда при глубинѣ разработки $= H'$ напвыгоднѣйшимъ способомъ является разработка при помощи шахты съ гезенкомъ. Если H (13) $> H' > H$ (9 bis), то при глубинѣ разработки H' шахта съ квершлагомъ обладаетъ небольшими шансами. Если H (9 bis) $> H' > H$ (13), то выгоднѣе всего будетъ многошахтная система. Наконецъ, если $H' < H$ (9 bis) и H (13), т. е. когда и отдѣльные шахты и шахта съ квершлагомъ имѣютъ преимущество передъ шахтою съ гезенкомъ, то приходится прибѣгнуть къ сравненію ихъ между собой. Отвѣтомъ будетъ служить результатъ, который даетъ формула (8).

Если $H(8) > H'$, то выгоднѣе отдѣльныя шахты; если же $H(8) < H'$, то выгоднѣе шахта съ квершлагомъ.

Пояснимъ сказанное примѣромъ. Возьмемъ свиту „Алмазнаго“ пласта въ Донецкомъ бассейнѣ. Свита эта состоитъ изъ 6 пластовъ (фиг. 12.), изъ которыхъ въ нѣкоторыхъ участкахъ пластъ „Атаманъ“ является не рабочимъ. При рабочемъ пластѣ „Атаманъ“, элементы свиты будутъ:

$p =$	280	$n =$	6
$p_1 =$	200	$a_1 =$	28
$p =$	240	$a_2 =$	18
$p_3 =$	135	$a_3 =$	15
$p_4 =$	260	$a_4 =$	18
$p_5 =$	320	$a_5 =$	8
$\Sigma p =$	1.435	$\Sigma a =$	87

$A = 51.590.$

И при нерабочемъ.

$n =$	5	$p =$	280
$a_1 =$	46	$p_1 =$	240
$a_2 =$	15	$p_2 =$	135
$a_3 =$	18	$p_3 =$	260
$a_4 =$	8	$p_4 =$	320
$\Sigma a =$	87	$\Sigma p =$	1.235

$A = 39.790.$

$\beta = 8^0 - 67^0$

Чаще $\beta = 14^0 - 35^0.$

Примемъ, кромѣ того,

$k = 1.000$ $\quad k_2 = 500$ $\quad S = 1.000$ с.

$k_1 = 250$ $\quad k_3 = 600$

Прежде всего по формулѣ (11) опредѣлимъ предѣльный угола α, при которомъ для данной свиты примѣнима система работъ гезенкомъ.

$$1)\ \operatorname{tg}\alpha = \Sigma a \frac{k_1}{k + k_3} \cdot \frac{\Sigma p}{A} = 87 \cdot \frac{250}{1600} \cdot \frac{1435}{51590} = 0{,}3783$$

$$\alpha = 20^0\ 43'$$

$$1)\ \operatorname{tg}\alpha = \Sigma a \frac{k_1}{k + k_3} \cdot \frac{\Sigma p}{A} = 87 \cdot \frac{250}{1600} \cdot \frac{1235}{39790} = 0{,}4221$$

$$\alpha = 22^0\ 53'.$$

Положимъ, что свита проходитъ черезъ нашъ участокъ съ паденіемъ $\beta = 25^0$. Такъ какъ $\beta > \alpha$, то на основаніи сказаннаго выше заключаемъ, что свита должна быть разрабатываема при помощи квершлага.

По формулѣ (8) опредѣляемъ глубину, до которой выгоднѣе разработку вести системой отдѣльныхъ шахтъ.

$$1)\ H = \frac{k_1 \Sigma a}{[k_2 n - (k + k_3)] \sin \beta} = \frac{250 \cdot 87}{(500 \cdot 6 - 1600) \sin 25^0} = 36{,}6 \text{ с.}$$

$$2)\ H = \frac{k_1 \Sigma a}{[k_2 n - (k + k_3)] \sin \beta} = \frac{250 \cdot 87}{(500 \cdot 5 - 1600) \sin 25^0} = 57{,}2 \text{ с.}$$

Шахта глубиною H откроетъ запасъ угля:

$$1)\ T = \frac{H}{\sin \beta} S \Sigma p = \frac{36{,}6 \cdot 1000 \cdot 1435}{\sin 25^0} = 153.570.000 \text{ пудовъ.}$$

$$2)\ T = \frac{57{,}2 \cdot 1000 \cdot 1235}{\sin 25^0} = 206.555.000 \text{ пудовъ.}$$

Если мы разсчитаемъ рудникъ съ производительностью въ 10.000.000 пудовъ въ годъ и имѣемъ концессію на 15 лѣтъ, то, очевидно, въ данномъ случаѣ система отдѣльныхъ шахтъ для насъ самая выгодная, такъ какъ открываетъ достаточный запасъ угля.

Въ случаѣ же, если нашъ рудникъ долженъ добывать больше, напр., 30.000.000 пудовъ въ годъ, при концессіи на 30 лѣтъ, очевидно, только что опредѣленнаго запаса не хватитъ; придется работать горизонты болѣе глубокіе. Глубина, которую должна имѣть шахта, чтобы дать необходимый запасъ угля, будетъ:

$$1)\ H = \frac{T \sin \alpha}{S \Sigma p} = \frac{30 \cdot 30.000.000 \cdot \sin 25^0}{1000 \cdot 1435} = 214 \text{ саж.}$$

$$2)\ H = \frac{30 \cdot 30.000.000 \cdot \sin 25^0}{1000 \cdot 1235} = 249 \text{ саж.}$$

Предположимъ теперь, что свита проходитъ на нашемъ участкѣ съ паденіемъ $\beta = 10^0$. Такъ какъ этотъ уголъ меньше угла α, опредѣленнаго по формулѣ (11), то заключаемъ, что въ данномъ случаѣ примѣнимы гезенки. По формулѣ (9) прежде всего опредѣляемъ глубину, до которой выгоднѣе работать отдѣльными шахтами.

$$1)\ H = \frac{(k + k_3) A}{\Sigma p [k_2 n - (k + k_3)] \cos \beta} = \frac{1600 \cdot 51590}{1435 \cdot (6.500 - 1600) \cdot \cos 10^0} = 41{,}6 \text{ саж.}$$

$$2)\ H = \frac{(k + k_3) A}{\Sigma p [k_2 n - (k + k_3)] \cos \beta} = \frac{1600 \cdot 39790}{1235 \cdot (5.500 - 1600) \cdot \cos 10^0} = 48{,}5 \text{ саж.}$$

Разсуждая по предыдущему, найдемъ, что открываемаго этою глубиною запаса для небольшого рудника, съ производительностью въ 10.000.000 пуд. въ годъ, хватитъ съ избыткомъ, такъ что даже намъ незачѣмъ будетъ работать до найденной глубины, а гораздо мельче, или же мы можемъ работать не всѣ пласты, а только тѣ, которые представляютъ наибольшую выгоду при эксплоатаціи. При проектированіи большого рудника, съ производительностью, напримѣръ, въ 40.000.000 пуд. на 30 лѣтъ, придется работать горизонты болѣе глубокіе.

Если наша концессія не ограничена извѣстной глубиной разработки,

то, какъ мы видѣли, шахта съ гезенкомъ выгоднѣе шахты съ квершлагомъ при $\beta < \alpha$, поэтому глубину шахты опредѣлимъ изъ формулы (15).

$$1)\ H = \frac{T \sin \alpha}{S \Sigma p} + \frac{A}{\Sigma p \cos \alpha} = \frac{30 \cdot 40.000.000 \cdot \sin 10^0}{1000 \cdot 1435} + \frac{51590}{1435 \cdot \cos 10^0} = 175 \text{ саж.}$$

$$2)\ H = \frac{30 \cdot 40.000.000 \cdot \sin 10^0}{1000 \cdot 1235} + \frac{39790}{1235 \cdot 0{,}985} = 202 \text{ саж.}$$

Если же мы имѣемъ дѣло съ концессіей 2-го типа и пользуемся правомъ разработки, предположимъ, только до глубины $H' = 150$ саж., то, опредѣливши по формулѣ (9 bis) глубину, при которой $\varphi_g = \varphi_n$,

$$1)\ H = \frac{n k_2 A}{\Sigma p [k_2 n - (k + k_3)] \cos \beta} = \frac{6 \cdot 500 \cdot 51590}{1435 (6 \cdot 500 - 1600) \cos 10^0} = 78 \text{ саж.}$$

$$2)\ H = \frac{5 \cdot 500 \cdot 39790}{1235 (5 \cdot 500 - 1600) \cos 10^0} = 91 \text{ саж.}$$

видимъ, что, при глубинѣ разработки 150 саж., преимущество на сторонѣ шахты съ гезенкомъ.

Посмотримъ, можетъ быть при этой глубинѣ она уступитъ въ выгодности шахтѣ съ квершлагомъ? По формулѣ (13) вычисляемъ ту глубину, начиная съ которой шахта съ гезенкомъ выгоднѣе шахты съ квершлагомъ:

$$1)\ H = \frac{k_1 \Sigma a A}{\Sigma p k_1 \Sigma a \cos \beta - (k + k_3) A \sin \beta} =$$

$$= \frac{250 \cdot 87 \cdot 51590}{1435 \cdot 250 \cdot 87 \cos 10^0 - 1600 \cdot 51590 \sin 10^0} = 68 \text{ саж.}$$

$$2)\ H = \frac{250 \cdot 87 \cdot 39790}{1235 \cdot 250 \cdot 87 \cos 10^0 - 1600 \cdot 39790 \sin 10^0} = 56 \text{ саж.}$$

видимъ, что, при разработкѣ глубиною въ 150 саж., все-таки преимущество, въ смыслѣ капитальныхъ затратъ, остается за гезенками, такъ какъ $H' > H$ (13).

Примѣчаніе 1. Такъ какъ при $H' = 150$ саж., запасъ угля, открываемый шахтою съ квершлагомъ,

$$T = \frac{H'}{\sin \alpha} S \Sigma p = 1.237.000.000 \text{ пудовъ}$$

и шахтою съ гезенкомъ

$$T_1 = \frac{2S}{\sin 2\alpha} (H' \Sigma p \cos \alpha - A) = 880.000.000 \text{ пудовъ,}$$

то средняя годичная производительность шахты будетъ, при 30-лѣтней концессіи,

$$\text{въ 1-мъ случаѣ } \frac{T}{30} = 41 \text{ милл. п.}$$

$$\text{во 2-мъ } \text{„} \quad \frac{T_1}{30} = 29 \text{ милл. „}$$

Примѣчаніе 2. Если бы глубина разработки была ограничена, напримѣръ, 75 саж., то предпочтеніе нужно было бы отдать отдѣль-

нымъ шахтамъ, такъ какъ при этой глубинѣ шахта съ гезенкомъ выгоднѣе шахты съ квершлагомъ, но уступаетъ отдѣльнымъ шахтамъ. Если же, наконецъ, право разработки ограничено 50 саженями, то при этой глубинѣ и шахта съ квершлагомъ, и отдѣльныя шахты выгоднѣе шахты съ гезенкомъ, а потому, чтобы знать, чему отдать предпочтеніе, нужно прибѣгнуть къ формулѣ (8).

$$1)\ H = \frac{k_1 \Sigma a}{[\eta k_2 - (k + k_3)] \sin \beta} = \frac{250 \cdot 87}{(500 \cdot 6 - 1600) \sin 10^0} = 18{,}5 \text{ саж.}$$

$$2)\ H = \frac{250 \cdot 87}{(500 \cdot 5 - 1600) \sin 10^0} = 29 \text{ саж.}$$

Слѣдовательно, при глубинѣ 50 саж., наивыгоднѣйшій способъ (въ смыслѣ капитальныхъ затратъ) разработки данной свиты будетъ при помощи центральной шахты съ квершлагомъ.

Выше мы видѣли, что при углѣ паденія свиты $\beta \leqq \alpha$ (12), шахта съ гезенкомъ выгоднѣе шахты съ квершлагомъ, когда она открываетъ такой же запасъ угля T. Глубина шахты съ гезенкомъ H_g при этомъ $> H_q$.

Когда на первомъ планѣ стоитъ глубина шахты, и не столь важно вынуть изъ нея именно запасъ T, то, какъ мы видѣли, до глубины H (13) выгода разработки лежитъ на сторонѣ шахты съ квершлагомъ. Запасъ угля, при этомъ, открываемый шахтою съ квершлагомъ, больше такового же, открываемаго шахтою съ гезенкомъ.

При углѣ паденія данной свиты $\beta > \alpha$, при одинаковой глубинѣ шахтъ H_g и H_q, а также и при одинаковомъ открываемомъ запасѣ угля T_g и T_q, преимущества лежатъ на сторонѣ шахты съ квершлагомъ. Посмотримъ, что будетъ въ томъ случаѣ, когда H_g при большей глубинѣ открываетъ большій запасъ угля, чѣмъ H_q.

Разсмотримъ случай, когда $H_g = H_q + \frac{\Sigma a}{\cos \alpha}$, т. е. шахта расположена такъ, какъ это показано на фиг. 13.

Примѣнительно къ данному случаю формула (5) приметъ видъ:

$$\varphi_g = \frac{(k + k_3) H_g \sin \alpha \cos \alpha}{S (\Sigma p H_g \cos \alpha - A)} = \frac{(k + k_3) \cdot \left(H_q + \frac{\Sigma a}{\cos \alpha}\right) \sin \alpha \cos \alpha}{S \left[\Sigma p \left(H_q + \frac{\Sigma a}{\cos \alpha}\right) \cos \alpha - A\right]} =$$

$$= \frac{(k + k_3) H_q \sin \alpha \cos \alpha + (k + k_3) \Sigma a \sin \alpha}{S [H_q \Sigma p \cos \alpha + \Sigma a \cdot \Sigma p - A]}$$

и

$$\varphi_q = \frac{(k + k_3) H_q \sin \alpha + k_1 \Sigma a}{S \cdot H_q \cdot \Sigma p},$$

Посмотримъ, въ какихъ случаяхъ $\varphi_g = \varphi_q$.

Это будетъ, когда

$$\frac{(k + k_3) H_q \sin \alpha \cos \alpha + (k + k_3) \Sigma a \sin \alpha}{H_q \Sigma p \cos \alpha + \Sigma a \cdot \Sigma p - A} =$$

$$= \frac{(k + k_3) H_q \sin \alpha + k_1 \Sigma a}{H_q \Sigma p}.$$

Приводя къ одному знаменателю, получимъ

$$(k + k_3)\ H_q \sin\alpha \cos\alpha\ H_q\ .\ \Sigma p + (k + k_3)\ \Sigma a \sin\alpha\ H_q\ \Sigma p = (k + k_3)\ H_q \sin\alpha\ H_q\ \Sigma p \cos\alpha + k_1\ \Sigma a\ H_q\ \Sigma p \cos\alpha + (k + k_3)\ H_q \sin\alpha\ \Sigma a\ \Sigma p + k_1\ \Sigma a\ \Sigma p\ \Sigma a - (k + k_3)\ H_q\ A \sin\alpha - k_1\ \Sigma a\ .\ A.$$

Сокращая подобные члены, будемъ имѣть

$$H_q\ [(k + k_3)\ A \sin\alpha - k_1\ \Sigma a\ \Sigma p \cos\alpha] = k_1\ \Sigma a\ (\Sigma a\ \Sigma p - A).$$

Откуда

$$H_q = \frac{k_1\ \Sigma a\ (\Sigma a\ \Sigma p - A)}{(k + k_3)\ A \sin\alpha - k_1\ \Sigma a\ \Sigma p \cos\alpha} \quad \ldots\ldots$$

Посмотримъ, что представляетъ изъ себя $\Sigma a\ \Sigma p - A$

$$\Sigma a\ \Sigma p - A = a_1\ (p_1 + p_2 + \ldots + p_n) + a_2\ (p_1 + p_2 + \ldots + p_n) + a_3\ (p_1 + p_2 + \ldots + p_n) + \ldots + a_{n-1}\ (p_1 + p_2 + \ldots + p_n) - [a_1\ p_1 + a_2\ (p_1 + p_2) + a_3\ (p_1 + p_2 + p_3) + \ldots + a_{n-1}\ (p_1\ p_2 + \ldots + p_{n-1})] = a_1\ (p_2 + p_3 + \ldots + p_n) + a_2\ (p_3 + p_4 + \ldots + p_n) + a_3\ (p_4 + p_5 + \ldots + p_n) + \ldots + a_{n-1}\ p_n.$$

Видимъ, что разность представляетъ собою многочленъ, составленный по тому же закону, что и A, но только въ обратномъ порядкѣ. Обозначимъ его черезъ A_1, тогда

$$H_q = \frac{k_1\ .\ \Sigma a\ .\ A_1}{(k + k_3)\ A \sin\alpha - k_1\ \Sigma a\ \Sigma p \cos\alpha} \quad . \ . \ . \ (13\ \text{bis})$$

Для полученія возможныхъ значеній для H_q необходимо условіе, чтобы

$$(k + k_3)\ A \sin\alpha - k_1\ \Sigma a\ \Sigma p \cos\alpha \gtrless 0$$

Откуда

$$\operatorname{tg}\alpha \gtrless \frac{k_1\ \Sigma a\ \Sigma p}{(k + k_3) A} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (11\ \text{bis})$$

и

$$\alpha \gtrless \operatorname{arc}\ tg \frac{k_1\ \Sigma a\ \Sigma p}{(k + k_3)\ A} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (12\ \text{bis})$$

Если это условіе соблюдено и уголъ паденія данной свиты $\beta > \alpha$ (12 bis), то по формулѣ (13 bis) можно опредѣлить ту глубину H_q шахты съ квершлагомъ, при которой она даетъ одинаковое погашеніе, что и шахта съ гезенкомъ, глубиною $H_g = H_q + \frac{\Sigma a}{\cos\alpha}$, открывающая большій запасъ угля $T_g > T_q$.

Изслѣдуемъ формулу (13 bis). Такъ какъ $\Sigma a\ \Sigma p = A + A_1$ то, слѣдовательно, при постоянныхъ Σa и Σp, съ увеличеніемъ A уменьшается A_1 и обратно.

Изъ формулы (13 bis) видимъ, что

1) H_q — уменьшается съ увеличеніемъ угла паденія α, такъ какъ, съ

увеличеніемъ α, $\sin\alpha$ увеличивается, а $\cos\alpha$ уменьшается, то, значитъ, знаменатель дроби увеличивается, а дробь, т. е. H_q, — уменьшается. Слѣдовательно, чѣмъ круче паденіе пластовъ, при остальныхъ данныхъ постоянныхъ, тѣмъ меньше предѣльная глубина, за которой начинаются выгоды квершлаговъ.

2) H_q — увеличивается съ увеличеніемъ A_1, такъ какъ при этомъ числитель увеличивается, а знаменатель уменьшается, вслѣдствіе уменьшенія A; слѣдовательно, въ случаяхъ, благопріятствующихъ вообще работѣ шахтою съ гезенкомъ, эта послѣдняя имѣетъ преимущество передъ шахтой съ квершлагомъ до большей глубины.

3) Съ увеличеніемъ мощности нижнихъ пластовъ свиты, H_q увеличивается, т. е. шахта съ гезенкомъ имѣетъ преимущества надъ шахтой съ квершлагомъ до большей глубины, и наоборотъ.

4) Измѣненія мощности угленосной толщи Σa, вызывая измѣненія A и A_1, не даютъ возможности вывести зависимость ея съ измѣненіемъ H_q, подтвержденіе чему и увидимъ ниже въ таблицѣ № 7.

Таблица № 7, составленная при тѣхъ же данныхъ, что и таблица № 5, иллюстрируетъ сказанное.

ТАБЛИЦА № 7.

α^0	$\Sigma a = 10$				$\Sigma a = 50$				$\Sigma a = 100$			
	$A = 11.700$ $A_1 = 4.800$	$A = 7.950$ $A_1 = 8.550$	$A = 8.550$ $A_1 = 7.950$	$A = 4.800$ $A_1 = 11.700$	$A = 58.500$ $A_1 = 24.000$	$A = 39.750$ $A_1 = 42.750$	$A = 28.500$ $A_1 = 54.000$	$A = 13.800$ $A_1 = 68.700$	$A = 117.000$ $A_1 = 48.000$	$A = 79.500$ $A_1 = 85.500$	$A = 63.750$ $A_1 = 101.250$	$A = 30.450$ $A_1 = 134.550$
5	∞				∞				∞			
10	1.416	∞	∞		7.080	∞			14.160	∞		
15	6	160	45		30	800	∞		60	1.600	∞	
20	3	14	9	∞	15	68,4	6.338		30	140	524	
25	2	7	6	90	10	35	125		20	70	155	
30	1,5	5	4	24	7.5	25	64		15	50	90	∞
35	1,2	4	3	14	6	20	43	∞	12	40	64	2.863
40	1,0	3	2,5	11,5	5	15	32	441	10	30	50	448
45	0,9	2,5	2,0	7,5	4,5	12,5	25	171	9	25	41	244
50	0,8	2,2	1,9	6,2	4,0	11	22	109	8	22	35	150
55	0,7	2,0	1,7	5,4	3,5	10	20	80	7	20	31	126
60	0,6	1,8	1,5	4,7	3,0	9	18	62	6	18	28	104

Разсматривая таблицу № 7, видимъ, что при предѣльномъ углѣ паденія α (12 bis), глубина шахты съ квершлагомъ H_q, при которой она даетъ одинаковое погашеніе на пудъ, что и шахта съ гезенкомъ, глубиною $H_g = H_q + \frac{\Sigma a}{\cos \alpha}$, равна ∞. При увеличеніи угла паденія, предѣльная глубина начинаетъ уменьшаться, сначала очень быстро, а потомъ постепенно. Чѣмъ круче паденіе, тѣмъ предѣльная глубина меньше, т. е. тѣмъ до меньшей глубины шахта съ гезенкомъ имѣетъ преимущество надъ шахтою съ квершлагомъ.

Пусть, напримѣръ, имѣемъ $a\ \Sigma = 50$

$A = 39750$

$A_1 = 42750$

$\alpha = 20^0$

Изъ таблицы № 7, усматриваемъ, что при этихъ данныхъ $H_q = 68{,}4$ саж.

Это показываетъ намъ, что если бы мы при составленіи проекта разработки задались глубиною шахты съ квершлагомъ, меньшей 68,4 саж. напримѣръ, 50 саж., то погашеніе, даваемое ею, было бы больше погашенія, даваемаго шахтою съ гезенкомъ $H_g = H_q + \frac{\Sigma a}{\cos \alpha} = 103{,}2$ саж. глубиною, т. е., другими словами, шахта съ гезенкомъ $H_g = 103{,}2$ саж. глубиною, въ смыслѣ капитальныхъ затратъ, была бы выгоднѣе шахты съ квершлагомъ $H_q = 50$ саж. глубиною. Наоборотъ, если бы мы задались глубиною $H_q = 100$ саж., т. е. большею 68,4 саж., то должны были бы заключить, что при такой глубинѣ шахта съ квершлагомъ, $H_q = 100$ саж., выгоднѣе шахты съ гезенкомъ, глубиною $H_g = H_q + \frac{\Sigma a}{\cos \alpha} = 153{,}2$ с.

Таблица № 8 подтверждаетъ нашъ выводъ: въ ней помѣщены вычисленныя φ_q и φ_g — погашенія шахты съ квершлагомъ при глубинѣ $H_q = 50—68{,}4—100$ саж. и соотвѣтственно ей шахты съ гезенкомъ глубиною $H_g = 103{,}2 — 121{,}6 — 153{,}2$ с. Изъ нея мы видимъ, что при $H_q = 68{,}4$ саж. $\varphi_q = \varphi_g$, что и должно быть, при $H_q < 68{,}4$ саж., $\varphi_q > \varphi_g$ и при $H_q < 68{,}4$ с. $\varphi_q > \varphi_g$.

ТАБЛИЦА № 8.

$\alpha = 20^0$			
H_q	H_g	φ_q	φ_g
50	103,2	452,8	441,2
68,4	121.6	420,3	420,3
100	153,2	331.6	392,7

Примѣчаніе 1. Не слѣдуетъ упускать изъ вида, что при крутыхъ паденіяхъ приходится считаться еще со многими обстоятельствами, о которыхъ сказано ниже, и которыя заставляютъ большею частью уже при паденіи $> 45^0$ предпочесть шахту съ квершлагомъ.

Примѣчаніе 2. На практикѣ придется дѣлать выборъ между H_g и H_q при описанныхъ условіяхъ, т. е. при углѣ паденія $\beta > \alpha$(12), тогда, когда свита проходитъ близъ границы участка (фиг. 13, гдѣ M—граница) и когда вопросъ становится такъ: что выгоднѣе, въ смыслѣ капитальныхъ затратъ, пройти ли шахту AB съ квершлагомъ BD и взять ею только запасъ угля BDE или шахту съ гезенкомъ AC и взять весь запасъ угля BCE. Кромѣ того, съ этимъ вопросомъ придется столкнуться ниже, при разсмотрѣніи случая разработки юберзихбрехеномъ.

Примѣръ. Пусть имѣемъ свиту, въ которой (фиг. 13):

$a_1 = 10$	$p_1 = 200$	
$a_2 = 15$	$p_2 = 300$	$A = 27500$
$a_3 = 20$	$p_3 = 400$	$A_1 = 35500$
	$p_4 = 500$	$\beta = 20^0$
$\Sigma a = 45$	$\Sigma p = 1400$	

Примемъ по предыдущему

$$k + k_3 = 1600$$
$$k_1 = 200$$

Тогда

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{k_1 \Sigma a \Sigma p}{(k + k_3) A} = \frac{200 \cdot 45 \cdot 1400}{1600 \cdot 27500} = 0{,}2864$$
$$\alpha = 15^0\ 59'.$$

Такъ какъ $\beta > \alpha$, то заключаемъ, что при одинаковой глубинѣ шахтъ или при одинаковомъ открываемомъ запасѣ угля, шахта съ квершлагомъ имѣетъ преимущества передъ шахтой съ гезенкомъ. Но въ виду того, что въ данномъ случаѣ рѣчь идетъ о шахтѣ съ квершлагомъ, глубиною $H_q = AB$, или шахтѣ съ гезенкомъ, глубиною $H_g = AC = H_q + \frac{\Sigma a}{\cos\alpha}$, открывающей большій запасъ угля, то вопросъ о сравнительной выгодности той или другой рѣшаемъ на основаніи формулы (13 bis).

$$H_q = \frac{k_1 \Sigma a \cdot A_1}{(k + k_3) A \sin\beta - k_1 \Sigma a \Sigma p \cos\beta} =$$
$$= \frac{200 \cdot 45 \cdot 35500}{1600 \cdot 27500 \cdot \sin 20^0 - 200 \cdot 45 \cdot 1400 \cdot \cos 20^0} = 100 \text{ саж.}$$

Эта формула показываетъ, что если разстояніе у границы отъ дневной поверхности до перваго пласта $AB < 100$ саж., то выгоднѣе будетъ пройти шахту съ гезенкомъ глубиною AC и взять весь запасъ угля.

Если же $AB > 100$ саж., то выгоднѣе будетъ, въ смыслѣ капитальныхъ затратъ, пройти шахту AB съ квершлагомъ BD и оставить невыработанною часть запаса угля BDC.

---

§ 3. Случай разработки свитъ, уже работавшихся раньше.

Разсмотримъ теперь случай, когда приходится закладывать шахту на пласты, уже раньше работавшіеся (фиг. 14).

Пусть, по прежнему, имѣемъ n пластовъ, изъ которыхъ

1-ый выработанъ уже до глубины H_v
2-ой „ „ „ H_v^I
3-ій „ „ „ H_v^{II}
. . . . . .
n-ый „ „ „ H_v^{n-1}

При разработкѣ системою отдѣльныхъ шахтъ будемъ имѣть затраты на устройство n шахтъ глубиною H

$$P = n\, k_2\, H.$$

1-ая шахта откроетъ запасъ угля $\frac{H - H_v}{\sin \alpha} \cdot S \cdot p$
2-я „ „ „ „ $\frac{H - H_v^I}{\sin \alpha} \cdot S \cdot p_1$
3-я „ „ „ „ $\frac{H - H_v^{II}}{\sin \alpha} \cdot S \cdot p_2$
. . . . . .
n-я „ „ „ „ $\frac{H - H_v^{n-1}}{\sin \alpha} \cdot S \cdot p_{n-1}$,

а всѣ n шахтъ

$$T = \frac{S}{\sin \alpha} [H\,(p + p_1 + \ldots + p_{n-1}) - (H_v\, p + H'_v\, p_1 + \\ + \ldots + H_v^{n-1}\, p_{n-1})].$$

Слѣдовательно

$$\varphi_n = \frac{P}{T} = \frac{n\, k_2\, H \sin \alpha}{S\,[H \,.\, \Sigma p - (H_v\, p + H_v^I\, p_1 + H_v^{II}\, p_2 + \ldots + H_v^{n-1}\, p_{n-1})]} = \\ = \frac{n\, k_2\, H \sin \alpha}{S\,[H \,.\, \Sigma p - \Sigma\,(H_v\, p)]} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1a)$$

При разработкѣ этой свиты помощью центральной шахты съ квершлагомъ, затраты выразятся черезъ

$$P = H\,(k + k_3) + \frac{k_1\, \Sigma a}{\sin \alpha}$$

и такъ какъ открываемый запасъ угля будетъ тоже

$$T = \frac{S}{\sin \alpha} [H \,.\, \Sigma p - (H_v\, p + H'_v\, p_1 + \ldots)],$$

то погашеніе на пудъ

$$\varphi_q = \frac{P}{T} = \frac{H\,(k + k_3)\sin\alpha + k_1 \cdot \Sigma a}{S\,[H\,\Sigma p - (H_v\,p_1 + H'_v\,p_1 + \ldots + H_v^{n-1} p_{n-1})]} =$$

$$= \frac{(k + k_3)\,H \sin\alpha + k_1 \cdot \Sigma a}{S\,[H \cdot \Sigma p - \Sigma\,(H_v\,p)]} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4a)$$

При разработкѣ центральной шахтой съ гезенкомъ, затраты

$$P = (k + k_3)\,H,$$

запасы же угля, открываемые въ каждомъ пластѣ, будутъ:

въ 1-мъ пластѣ $\frac{h - H_v}{\sin\alpha} \cdot S \cdot p$

во 2-мъ „ $\frac{h + h_1 - H_v^I}{\sin\alpha} \cdot S \cdot p_1$

въ 3-мъ „ $\frac{h_1 + h_1 + h_2 - H_v^{II}}{\sin\alpha} \cdot S \cdot p_2$

. . . . . .

въ n-мъ „ $\frac{n + h_1 + \ldots + h_{n-1} - H_v^{n-1}}{\sin\alpha} \cdot S \cdot p_{n-1} =$

$$= \frac{H - H_v^{n-1}}{\sin\alpha} \cdot S \cdot p_{n-1},$$

а всего

$$T = \frac{S}{\sin\alpha}\{h\,(p + p_1 + \ldots + p_{n-1}) + h_1\,(p_1 + p_2 + \ldots + p_{n-1}) + h_2\,(p_2 + p_3 + \ldots + p_{n-1}) + \ldots + h_{n-1}\,p_{n-1} - (H_v\,p + H_v^I\,p_1 + H_v^{II}\,p_2 + \ldots + H_v^{n-1}\,p_{n-1})\}.$$

Подставляя по предыдущему вмѣсто h, h_1, h_2 . . . ихъ значенія, получимъ:

$$T = \frac{S}{\sin\alpha\cos\alpha}\{H\cos\alpha\,\Sigma p - [a_1\,p + a_2\,(p + p_1) + \ldots + a_{n-1}\,(p + p_1 + \ldots + p_{n-2})] - (H_v\,p + H'_v\,p_1 + \ldots)\cos\alpha\} =$$

$$= \frac{2\,S}{\sin 2\alpha}\{H\cos\alpha\,\Sigma p - A - \Sigma\,(H_v\,p)\cos\alpha\} =$$

$$= \frac{2\,S}{\sin 2\alpha}\{[H\,\Sigma p - \Sigma\,(H_v\,p)]\cos\alpha - A\}$$

и погашеніе на 1 пудъ

$$\varphi_g = \frac{\frac{1}{2} \cdot (k + k_3)\,H \cdot \sin 2\alpha}{S\{[H\,\Sigma p - (H_v\,p)]\cos\alpha - A\}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5\text{ a})$$

Сравнивая полученныя формулы съ формулами (1), (4) и (5), видимъ, что вся разница между ними состоитъ въ томъ, что въ знаменателѣ вездѣ вмѣсто $H\Sigma p$ стоитъ $H\Sigma p - \Sigma\,(H_v\,p)$. Отсюда заключаемъ, что всегда

$$\varphi_n\,(1a) > \varphi_n\,(1),\ \varphi_q\,(4a) > \varphi_q\,(4)\ \text{и}\ \varphi_g\,(5a) > \varphi_g\,(5).$$

Кромѣ того, необходимое условіе для возможности существованія формулъ (1a), (4a) и (5a), чтобы

$$H\Sigma p - \Sigma (H_v\ p) > 0$$

и для (5a) еще

$$[H\ .\ \Sigma p - \Sigma (H_v\ p)] \cos \alpha - A > 0.$$

Само собою разумѣется, что разъ соблюдено послѣднее неравенство, то соблюдено и первое; если же соблюдено только первое, а второе не соблюдено, то это указываетъ, что въ данномъ случаѣ разработка гезенками невозможна, и остается выбирать только между отдѣльными шахтами и центральной шахтой съ квершлагомъ.

Изъ перваго неравенства имѣемъ

$$H > \frac{\Sigma (H_v\ p)}{\Sigma p\ .} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Изъ второго

$$H > \frac{\Sigma (H_v\ p) \cos \alpha + A}{\Sigma p\ .\ \cos \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Подобно предыдущему, изъ формулъ (1a) и (4a) получаемъ выраженіе для предѣльной глубины, до которой выгоднѣе работать системой отдѣльныхъ шахтъ, чѣмъ центральной шахтой съ квершлагомъ.

$$H = \frac{k_1\ \Sigma a}{[n\ k_2 - (k + k_3)] \sin \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Точно также изъ формулъ (1a) и (5) при $T_g = T_n$

$$H_n = \frac{(k + k_3)\ A}{\Sigma p\ (n\ k_2 - (k + k_3) \cos \alpha} + \frac{\Sigma (H_v\ p)}{\Sigma p} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9a)$$

и при $H_n = H_g$.

$$H = \frac{n\ k_2\ A}{\Sigma p\ [n\ k_2 - (k + k_3)] \cos \alpha} + \frac{\Sigma (H_v\ p)}{\Sigma p} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9a\ bis)$$

И, наконецъ, изъ формулъ (4a) и (5a)

$$H = \frac{k_1\ \Sigma a\ (A + \Sigma (H_v\ p) \cos \alpha)}{\Sigma a\ .\ k_1\ .\ \Sigma p \cos \alpha - (k + k_3)\ A \sin \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13a)$$

Такъ какъ знаменатель въ формулѣ (13a) тотъ же, что и въ формулѣ (13), то, слѣдовательно, имѣемъ

$$\operatorname{tg} \alpha \lessgtr \Sigma p\ \frac{k_1}{k + k_3}\ .\ \frac{\Sigma a}{A} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Ту же самую формулу (11) получаемъ при рѣшеніи вопроса о томъ, при какихъ условіяхъ выгоднѣе задавать шахту H_g съ гезенкомъ, открывающую такой же запасъ угля T, какъ шахта H_q съ квершлагомъ, и для глубины послѣдней имѣемъ формулу:

$$H_q = \frac{1}{\Sigma p}\left[\frac{T}{S}\sin\alpha + \Sigma\,(H_v\,p)\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14\text{ а})$$

а для H_g

$$H_g = \frac{1}{\Sigma p}\left[\frac{T}{S}\sin\alpha + \Sigma\,(H_v\,p) + \frac{A}{\cos\alpha}\right] \quad . \quad (15\text{ а})$$

Этими же всѣми формулами можно пользоваться въ томъ случаѣ, если свита, которую желаемъ разрабатывать, проходитъ черезъ нашъ участокъ на нѣкоторой глубинѣ, не обнажаясь на поверхности. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ H_v, H_v^1 . . . будутъ представлять собою разстоянія отъ поверхности до 1-го, 2-го . . . пластовъ. (Фиг. 15).

Примѣръ. Возьмемъ ту же Алмазную свиту, что и въ предыдущемъ случаѣ.

Предположимъ, что пластъ „Великанъ“ выработанъ до глубины . . . . . 40 саж.
Атаманъ не тронутъ
Надъ-Орловскій выработанъ до . . . . . 30 „
Орловскій . . . . . 15 „
Алмазный . . . . . 50 „
Толстый . . . . . 15 „
Тогда

$$\begin{aligned}
H_v p &= 40.280 = 11200\\
H_v^1 p_1 &= 0.200 = 0\\
H_v^{II} p_2 &= 30.240 = 7200\\
H_v^{III} p_3 &= 15.135 = 2025\\
H_v^{IV} p_4 &= 50.260 = 13000\\
H_v^{V} p_5 &= 14.320 = 4800\\
\hline
\Sigma(H_v p) &= 38225\\
\Sigma p &= 1435
\end{aligned}$$

По формулѣ (II) опредѣляемъ предѣльный уголъ, при которомъ возможна работа гезенками. По предыдущему

$$\alpha = 20^0\,43'.$$

Если уголъ паденія пластовъ на нашемъ участкѣ $\beta > \alpha$, напримѣръ, $\beta = 25^0$, то дѣлаемъ выводъ о преимуществѣ квершлаговъ. По формулѣ (8) находимъ предѣльную глубину, до которой выгоднѣе работать системой отдѣльныхъ шахтъ.

$$H = \frac{k_1\,\Sigma\,a}{[nk_2 - (k+k_3)]\sin\beta} = 36{,}6 \text{ с.}$$

Глубина центральной шахты H_q должна удовлетворять неравенству (16):

$$H > \frac{\Sigma\,(Hvp)}{\Sigma\,p} = \frac{38225}{1435} = 26{,}7 \text{ саж.}$$

Такъ какъ H (16) въ данномъ случаѣ $< H$ (8), то это указываетъ, что еще не весь уголь, который выгоднѣе работать отдѣльными шахтами, взятъ, а потому если H (8) открываетъ достаточный запасъ угля, то дѣлаемъ выводъ, что многошахтная система разработки данной свиты будетъ самая выгодная. Если запасъ, открываемый глубиною H (8), недостаточенъ, заключаемъ, что предпочтеніе слѣдуетъ отдать центральной шахтѣ съ квершлагомъ, и глубину ея найдемъ изъ формулы (14а). При $T =$ $= 600.000.000$ пуд.

$$H_q = \frac{1}{\Sigma p}\left[\frac{T}{S}\sin\beta + \Sigma\,(H_v p)\right] = 203 \text{ с.}$$

Предположимъ теперь, что вышеуказанные пласты выработаны на глубину въ 2 раза большую; тогда $\Sigma\,(H_v p) = 76450$ и H (16) должно быть

$$H\ (16) > 53{,}4 \text{ саж.}$$

Такъ какъ предѣльная глубина H (8), до которой выгоднѣе работать отдѣльными шахтами, $< H$ (16), то это указываетъ, что запасъ, открываемый глубиною H (8), взятъ, и намъ ничего не остается, какъ задать центральную шахту глубиною

$$H = \frac{1}{\Sigma p}\left[\frac{T}{S}\sin\beta + \Sigma\,H_v p)\right] = 230 \text{ саж.}$$

Положимъ теперь, что $\beta = 10^0$, слѣдовательно, возможно примѣненіе гезенковъ. Глубина шахты съ гезенкомъ должна удовлетворять условію (17), т. е. быть больше

$$H = \frac{\Sigma\,(H_v p)}{\Sigma p} + \frac{A}{\Sigma p \cos\beta} = \frac{38225}{1435} + \frac{51590}{1435\cos 10^0} = 63{,}2 \text{ с.}$$

По формулѣ (9а) опредѣляемъ предѣльную глубину, при которой выгода разработки лежитъ на сторонѣ отдѣльныхъ шахтъ,

$$H = \frac{(k+k_3)}{\Sigma p\ [n\,k_2 - (k+k_3)]\cos\beta}\,\frac{A}{} + \frac{(\Sigma\,H_v p)}{\Sigma p} = 69 \text{ саж.}$$

Если эта глубина открываетъ достаточный запасъ угля, то многошахтная система будетъ наивыгоднѣйшая. Въ противномъ случаѣ, при производительности, напримѣръ, 40 милліоновъ пудовъ въ годъ, нужно предпочесть шахту съ гезенкомъ, глубиною

$$H_g = \frac{1}{\Sigma p}\left[\frac{T}{S}\sin\beta + \frac{A}{\cos\beta} = \Sigma\,(H_v p)\right] = 208 \text{ саж.}$$

Если имѣемъ дѣло съ концессіей 2-го типа и пользуемся правомъ разработки, напримѣръ, до глубины 150 саж., то по формулѣ (9а bis) найдемъ глубину шахты, начиная съ которой пріобрѣтаютъ преимущество

гезенки надъ системой отдѣльныхъ шахтъ,

$$H = \frac{n\ k_2\ A}{\Sigma p\ [n\ k_2 - (k + k_3)\ ]\ \cos\beta} + \frac{\Sigma\ H_v p}{\Sigma\ p} = 105 \text{ саж.}$$

Видимъ, что, при глубинѣ разработки 150 саж., шахта съ гезенкомъ выгоднѣе. Посмотримъ, будетъ ли она выгоднѣе шахты съ квершлагомъ, или нѣтъ? Формула (13а) даетъ намъ:

$$H = \frac{k_1\ \Sigma\ a\ [A + \Sigma\ (H_v p.)\ \cos\beta\ ]}{\Sigma p.\ k_1,\ \Sigma a.\ \cos\beta - (k + k_3)\ A\ \sin\beta} = 118 \text{ саж.}$$

Изъ сравненія этой величины съ 150, заключаемъ, что, въ смыслѣ капитальныхъ затратъ, нужно предпочесть шахту съ гезенкомъ, ибо уже съ глубины 118 саж. погашеніе капитальныхъ затратъ при гезенкахъ меньше, чѣмъ при квершлагахъ.

(Окончаніе слѣдуетъ).

ЕСТЕСТВЕННЫЯ НАУКИ, ИМѢЮЩІЯ ОТНОШЕНІЕ КЪ ГОРНОМУ ДѢЛУ.

СПОСОБЫ ХИМИЧЕСКАГО ИЗСЛѢДОВАНІЯ ГРЕМУЧАГО ГАЗА КАМЕННО-УГОЛЬНЫХЪ КОПЕЙ.

(Окончаніе).

Профессора Н. С. Курнакова.

ГЛАВА III.

Методъ воспламеняемости.

Теорія способа. Если прибавлять къ атмосферному воздуху возрастающія количества какого-нибудь горючаго газа, то при нѣкоторомъ содержаніи послѣдняго получается смѣсь, обладающая способностью горѣть при зажиганіи. Имѣющійся фактическій матеріалъ показываетъ, что этотъ *низшій предѣлъ воспламеняемости* зависитъ какъ отъ природы газа, такъ и отъ его температуры, давленія, влажности, формы и размѣровъ оболочки и другихъ условій, при которыхъ совершается горѣніе. Но если поставить опыты такимъ образомъ, чтобы названныя условія сохранялись неизмѣнными, то предѣлъ воспламеняемости будетъ представлять постоянную и характерную для каждаго газа величину.

Для различныхъ газовъ и паровъ Ле-Шателье [1]) нашелъ слѣдующіе предѣлы воспламеняемости (съ точностью до 0,1%):

Для метана (гремучаго газа)	6,0%	(по объему)
„ свѣтильнаго газа средняго состава	8,1	(предѣлы 7,8%—8,6%)
„ водорода.	10,0	
„ ацетилена	2,8	
„ окиси углерода	16,0	
„ сѣрнистаго углерода	1,94	
„ пентана	1,1	
„ гексана	1,3	
„ октана	1,0	
„ нонана	0,83	
„ бензола	1,5	
„ этиловаго эфира	1,9	

[1]) *Le Chatelier*, Comptes rendus de l'Academie des sciences, *126*, 1510.

Если же, вмѣсто того, чтобы прибавлять горючій газъ, напримѣръ, метанъ къ воздуху, мы будемъ смѣшивать его съ воздухомъ, уже содержащимъ нѣкоторое количество метана, то для достиженія предѣла воспламеняемости во второмъ случаѣ нужно будетъ прибавить меньшее количество воздуха. На основаніи полученной разницы въ объемахъ можно вычислить содержаніе метана во взятой смѣси.

Когда смѣсь содержитъ одновременно воздухъ, метанъ и другой горючій газъ, напр., свѣтильный, то оба послѣднія вещества не измѣняютъ свойственнаго для каждаго изъ нихъ предѣла воспламеняемости (принципъ аддитивности свойствъ механическихъ смѣшеній). На основаніи этого, зная въ данномъ образцѣ процентное содержаніе n одного газа съ предѣломъ воспламеняемости N, число объемовъ n_1 другого газа съ предѣломъ воспламеняемости N_1, прибавляемаго для полученія 100 объемовъ горючей смѣси, можетъ быть найдено изъ выраженія:

$$\frac{n_1}{N-n} = \frac{N_1}{N},$$

откуда

$$\frac{n}{N} + \frac{n_1}{N_1} = 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Уравненіе (5) было провѣрено Ле-Шателье опытнымъ путемъ на сочетаніяхъ метана съ свѣтильнымъ газомъ и ацетилена съ окисью углерода. Напримѣръ, предѣлы воспламеняемости различныхъ смѣсей не вполнѣ чистаго метана (N=6,45%) со свѣтильнымъ газомъ (N_1=8,15%) отвѣчали слѣдующимъ содержаніямъ n и n_1 составныхъ частей:

Содержанія въ 100 объемахъ: метана n.	свѣт. газа n_1.	$\frac{n}{N} + \frac{n_1}{N_1} = 1.$
6,45%(N)	0	1
5,4	1,35%	1,003
3,1	4,25	1,002
1,5	6,2	0,993
0	8,15(N_1)	1

Числа третьяго столбца, опредѣленныя изъ уравненія (5), показываютъ, что уклоненія вычисленныхъ величинъ отъ единицы не превышаютъ возможныхъ погрѣшностей опыта [1]).

Для нахожденія содержанія гремучаго газа въ воздухѣ, къ послѣд-

[1]) Принципъ суммированія (аддитивности) свойствъ смѣсей, лежащій въ основѣ уравненія (5), примѣняется съ гораздо меньшею точностью для сочетаній окиси углерода съ водородомъ. Наблюдаемыя здѣсь уклоненія достигаютъ 4% опредѣляемой величины и значительно выходятъ за границы погрѣшностей опыта. Возможно, что эти отклоненія находятся въ связи съ образованіемъ при горѣніи водяныхъ паровъ, которые, какъ извѣстно, очень сильно вліяютъ на воспламеняемость окиси углерода. (*Le Chatelier et Boudouard*, Comptes rendus de l'Academie des sciences, *126*, 1344).

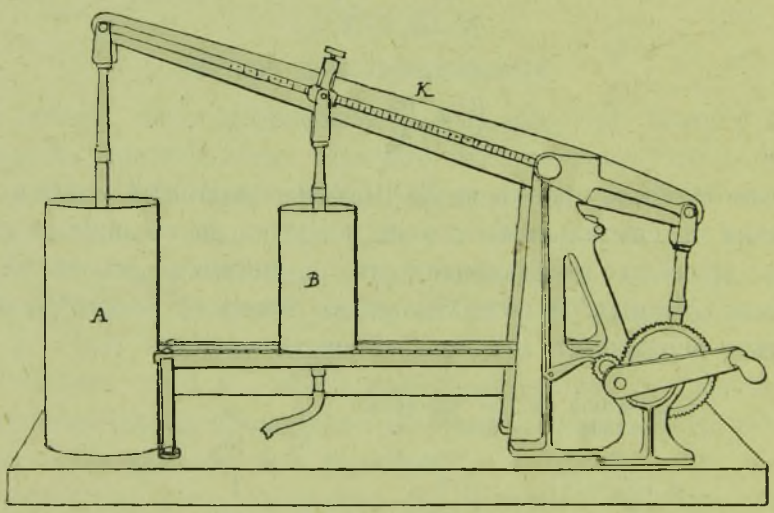
нему прибавляютъ метанъ или свѣтильный газъ до тѣхъ поръ, пока смѣсь не получитъ способность воспламеняться. Изъ уравненія (5) имѣемъ число объемовъ n метана въ 100 объемахъ общей смѣси:

$$n = N\left(1 - \frac{n_1}{N_1}\right) = 6\left(1 - \frac{n_1}{N_1}\right).$$

Въ этой смѣси заключается $100 - n_1$ объемовъ испытуемаго воздуха; слѣдовательно, содержаніе метана ($n^0/_0$) въ 100 объемахъ взятой пробы будетъ равняться:

$$n^0/_0 = 6\left(1 - \frac{n_1}{N_1}\right)\frac{100}{100 - n_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Впервые подобный методъ опредѣленія количества гремучаго газа былъ примѣненъ на практикѣ американскимъ инженеромъ *Шау* (*Shaw*) [1]). Конструированный имъ приборъ представленъ схематически на фиг. 1.



Фиг. 1.

Онъ состоитъ изъ балансира K, получающаго качательное движеніе отъ вращающейся рукоятки и соединеннаго на концѣ съ поршневымъ штокомъ неподвижнаго насоса A. Подъ балансиромъ находится второй насосъ B, меньшихъ размѣровъ, который можетъ перемѣщаться по горизонтальной градуированной линейкѣ. Верхняя оконечность поршневого штока насоса B можетъ быть также передвигаема и закрѣпляема на балансирѣ K, имѣющемъ соотвѣтствующія дѣленія. При восходящемъ движеніи обоихъ поршней, насосъ A всасываетъ постоянный объемъ испытуемаго воздуха изъ копи, а насосъ B — нѣкоторый перемѣнный объемъ чистаго горючаго газа (метана или свѣтильнаго газа); перемѣщая насосъ B, мы можемъ

[1]) См. *P. Bayard*, Annales des mines (8), t. 19, 379.

варьировать послѣдній объемъ по желанію. При опусканін поршней оба газа изъ насосныхъ цилиндровъ нагнетаются одновременно въ общій газопроводъ, гдѣ они смѣшиваются и затѣмъ подводятся къ особому зажигателю, не изображенному на фиг. 1. Если происходитъ воспламененіе смѣси, то опытъ повторяютъ снова, всасывая насосомъ *B* меньшее количество горючаго газа, для чего цилиндръ *B* передвигается ближе къ оси балансира. Послѣ нѣсколькихъ предварительныхъ опытовъ находятъ наконецъ для насоса *B* такое положеніе, при перемѣщеніи изъ котораго на одно дѣленіе градуированной линейки воспламененія уже не происходитъ, т. е. газовая смѣсь находится на предѣлѣ ея воспламеняемости. Зная объемъ прибавленнаго горючаго газа, указываемаго дѣленіями линейки, содержаніе метана въ изслѣдуемомъ воздухѣ вычисляется по выведенной выше формулѣ (6).

Само собою разумѣется, что показанія названнаго прибора находятся въ непосредственной зависимости отъ правильности работы клапановъ, насосныхъ поршней и др. частей механизма. Малѣйшая ихъ неисправность можетъ сдѣлать ошибочными всѣ измѣренія. Кромѣ того, количество воздуха, необходимаго для изслѣдованія, очень велико—не менѣе 50 литровъ. Перемѣщеніе въ подземныхъ выработкахъ и доставку на поверхность такихъ большихъ объемовъ, хотя бы въ легкихъ каучуковыхъ мѣшкахъ, нельзя считать особенно удобными. Наконецъ, при принятомъ Шау способѣ воспламененія газовой смѣси, части аппарата, прилегающія къ зажигателю, постепенно нагрѣваются, такъ что только по истеченіи нѣкотораго времени работы достигается та стаціонарная температура, которая необходима для полученія постоянныхъ чиселъ для предѣла воспламеняемости. Отъ одной послѣдней причины измѣненія въ предѣлѣ воспламеняемости могутъ достигать 0,5%. Тѣмъ не менѣе, оригинальный принципъ, положенный въ основу аппарата Шау, далъ поводъ къ дальнѣйшему изученію этого вопроса со стороны Ле-Шателье, Лебретона, Рато, Пуссига и другихъ французскихъ горныхъ инженеровъ. При этомъ имъ удалось выработать весьма простой и практичный методъ опредѣленія гремучаго газа, получившій въ настоящее время примѣненіе на многихъ каменноугольныхъ копяхъ Франціи.

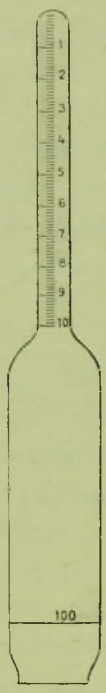
Я остановлюсь болѣе подробно на описаніи аппаратовъ *Ле-Шателье*, *Лебретона* и *Рато*.

1. Приборъ Ле-Шателье

Употребляя стеклянную бюретку, представленную на фиг. 2, Ле-Шателье [1]) удалось весьма просто примѣнить принципъ воспламеняемости для опредѣленія гремучаго газа. Нижняя, расширенная часть этой бюретки имѣетъ діаметръ 40 мм., при длинѣ въ 200 мм., и суживается къ открытому концу до 20 мм., такъ что ея отверстіе можно закрыть большимъ

[1]) *Le Chatelier*, Annales de chimie et de physique (6) t. *29*; Annales des mines (8) t. *19*.

пальцемъ руки. Въ верхней части бюретка состоитъ изъ болѣе узкой градуированной трубки въ 10 мм. діаметромъ и 250 мм. длины. При наполненіи, газовая смѣсь вводится въ приборъ до черты, находящейся примѣрно на 50 мм. выше нижняго отверстія, при чемъ общій объемъ равняется около 200 куб. см.; въ дѣйствительности, нѣтъ никакой необходимости имѣть именно этотъ объемъ, но градуированіе верхней части бюретки, каждое дѣленіе которой должно составлять $^1/_{1000}$ общаго объема газа, можетъ быть значительно облегчено, если нижняя черта отвѣчаетъ точно 200 куб. см.



Фиг. 2.

Указанные размѣры и форма бюретки приняты Ле-Шателье на основаніи слѣдующихъ соображеній:

1) Верхняя, суженная часть необходима для производства отчета объемовъ по меньшей мѣрѣ съ точностью въ 0,1%.

2) Когда нижняя черта помѣщена на извѣстномъ разстояніи отъ отверстія, то при наполненіи газомъ бюретки, въ послѣдней остается нѣкоторое количество воды, которая служитъ гидравлическимъ запоромъ и при встряхиваніи облегчаетъ смѣшеніе введенныхъ газообразныхъ веществъ.

3) Особенно важенъ выборъ надлежащаго діаметра расширенной части. Вслѣдствіе охлаждающаго дѣйствія стѣнокъ, способность газовой смѣси къ горѣнію уменьшается, и поэтому, чѣмъ уже взятая трубка, тѣмъ выше наблюдаемый предѣлъ воспламеняемости. Напримѣръ, для свѣтильнаго газа были найдены слѣдующіе предѣлы воспламеняемости при трубкахъ различнаго діаметра:

Діаметръ трубокъ:	Предѣлъ воспламеняемости:
10 мм.	8,7%
15 „	8,3 „
30 „	8,1 „

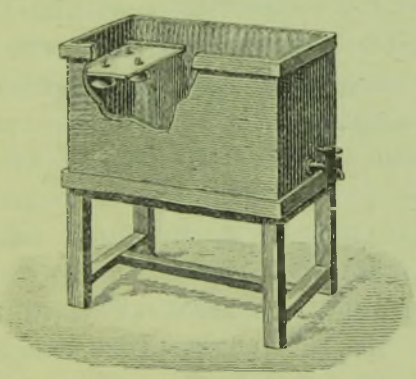
Уменьшеніе діаметра бюретки сказывается не только на величинѣ предѣла воспламеняемости, но обусловливаетъ также одно особенное явленіе, которое можетъ сдѣлать неточнымъ самое измѣреніе этого предѣла. Именно, пламя въ горящей смѣси потухаетъ послѣ прохожденія болѣе или менѣе значительнаго пути въ бюреткѣ. Этотъ путь становится тѣмъ длиннѣе, чѣмъ больше подходитъ смѣсь къ ея предѣлу воспламеняемости, при достиженіи котораго пламя должно проходить по теоріи неопредѣленно большія разстоянія. Такъ, для трубки съ діаметромъ въ 40 мм., подобная несовершенная воспламеняемость при окиси углерода проявляется, начиная съ содержаній на 0,5% ниже истиннаго предѣла,

а при метанѣ — начиная съ содержаній на 0,2% низшихъ истинной величины [1]).

Поэтому діаметръ расширенной части бюретки въ 40 мм. Ле-Шателье считаетъ минимальнымъ для смѣсей каменноугольнаго гремучаго газа. Тѣмъ не менѣе, практическія наблюденія Пуссига и Лебретона показываютъ, что этотъ діаметръ можетъ быть уменьшенъ до 35 мм. и даже до 25 мм., безъ замѣтнаго вліянія на результаты анализа (см. ниже описаніе бюретки Лебретона).

Методъ работы. Бюретка наполняется водой и помѣщается въ вертикальномъ положеніи надъ отверстіемъ въ помостѣ водяной ванны, выложенной внутри свинцомъ (фиг. 3). Для облегченія манипуляцій, этой ваннѣ придается значительный объемъ (100—300 литровъ).

Сначала въ бюретку вводятъ нѣкоторое количество горючаго газа, служащаго *реактивомъ* (gaz-reactif) при испытаніяхъ; такимъ реактивомъ служитъ обыкновенно болѣе или менѣе чистый гремучій газъ (метанъ), выдѣляющійся изъ трещинъ въ выработкахъ или изъ буровыхъ скважинъ въ каменномъ углѣ. При неимѣніи его можно пользоваться свѣтильнымъ газомъ или метаномъ, приготовленнымъ искусственно—посредствомъ накаливанія смѣси уксуснонатріевой соли съ натристой известью.



Фиг. 3.

Фиг. 4.

Предѣлъ воспламеняемости реактива долженъ быть точно опредѣленъ особыми опытами. Газъ, служащій реактивомъ, помѣщается въ стеклянной бутыли (3—5 литровъ), закрытой каучуковой пробкой съ двумя отверстіями (фиг. 4); черезъ одно изъ нихъ вставлена доходящая до дна бутыли трубка съ краномъ, соединенная съ давящимъ резервуаромъ съ водой. Во второмъ отверстіи помѣщается винтовой металлическій кранъ съ припаянной къ нему свинцовой или мѣдной капилярной трубкой (1—2 мм. внутр. діаметра), подводящей газъ подъ отверстіе въ помостѣ водяной ванны.

Для введенія въ бюретку желаемаго объема необходимо, чтобы газъ проходилъ мелкими пузырьками (менѣе 0,1 куб. см.), слѣдующими другъ

[1]) Кромѣ того, нужно замѣтить, что величина пути, проходимаго пламенемъ, зависитъ также отъ энергіи того источника теплоты, который служитъ для зажиганія.

за другомъ не слишкомъ быстро. Когда ванна имѣетъ достаточную глубину, то измѣреніе объема производится при атмосферномъ давленіи, погружая бюретку въ воду до сравненія уровней жидкости въ ваннѣ и бюреткѣ.

Послѣ этого въ бюретку вводится аналогичнымъ способомъ изслѣдуемый воздухъ до нижней черты. Для смѣшенія газовъ бюретка закрывается снизу подъ водою большимъ пальцемъ и переворачивается такимъ образомъ, чтобы весь газъ перешелъ въ расширенную часть. Затѣмъ ее встряхиваютъ въ теченіе 5 секундъ, поворачиваютъ снова въ прежнее положеніе отверстіемъ внизъ и приготовляются къ зажиганію смѣси. Съ этой цѣлью зажигаютъ свободной рукой спичку, поворачиваютъ вверхъ бюретку и, отводя большой палецъ отъ ея отверстія, быстро погружаютъ туда горящій конецъ спички. Если смѣсь способна воспламеняться, то характерное блѣдно-голубое пламя кольцомъ спускается внизъ по всей трубкѣ; въ противоположномъ случаѣ—не замѣчается ничего. Такъ какъ свѣтъ пламени довольно слабъ, то наблюденіе слѣдуетъ производить или въ затемненной комнатѣ, или же помѣщать бюретку въ шкапчикѣ, стѣнки котораго покрыть внутри черной краской.

Предположимъ для простоты, что мы имѣемъ въ своемъ распоряженіи, въ качествѣ реактива, чистый гремучій газъ. Такъ какъ предѣлъ воспламеняемости послѣдняго=6%, то количество реактива, необходимое для прибавленія къ изслѣдуемой воздушной пробѣ, должно быть всегда меньше 6. Анализъ начинаютъ введеніемъ половиннаго количества, т. е. 3% реактива. Если смѣсь не воспламеняется, то изъ этого уже слѣдуетъ заключить, что содержаніе метана въ изслѣдуемой пробѣ менѣе 3%. Тогда вводятъ количество реактива среднее между 6 и 3, напримѣръ, 4,5%. Если смѣсь еще не загорается, то дѣлаютъ третій опытъ съ 5,3% и затѣмъ четвертый—съ 5,6%. Предполагая, что въ послѣднемъ случаѣ наблюдалось воспламененіе, при пятомъ опытѣ прибавляютъ 5,45%. Если при этомъ случаѣ горѣнія не получается, то предѣлы для количества гремучаго газа въ изслѣдуемомъ воздухѣ заключаются между 0,4% и 0,55% и средняя величина = 0,47% выражаетъ содержаніе CH_4 съ точностью до 0,1%. Такимъ образомъ, при указанномъ ходѣ анализа для полученія искомаго результата достаточно было сдѣлать пять опытовъ, при расходѣ испытуемой пробы воздуха = 1 литру.

Число опытовъ въ значительной степени сокращается, если заранѣе имѣется нѣкоторое представленіе о возможномъ содержаніи метана, какъ это мы наблюдаемъ для большинства образцовъ воздуха, съ которыми приходится имѣть дѣло въ рудничной практикѣ.

При изслѣдованіи газовой пробы неизвѣстнаго содержанія необходимо сдѣлать предварительный опытъ относительно ея горючести при зажиганіи.

При этомъ различаются два случая:

1. Газъ не способенъ воспламеняться.

2. Газъ воспламеняется.

Первый случай является наиболѣе обыкновенныхъ при изслѣдованіи вентиляціонныхъ пробъ воздуха каменноугольныхъ копей. Испытуемая при анализѣ смѣсь прибавляются къ небольшому относительно количеству газа—реактива. Общій ходъ опредѣленія былъ поясненъ на приведенномъ выше примѣрѣ.

Ко *второму случаю* относятся газы съ содержаніемъ въ 6 и болѣе $^0/_0$ CH_4; для нахожденія предѣла воспламеняемости они должны быть смѣшиваемы съ соотвѣтствующимъ объемомъ чистаго воздуха. Послѣдняя операція является также необходимой при изслѣдованіи горючихъ газовъ, примѣняемыхъ въ качествѣ реактива.

Въ дѣйствительности, очень рѣдко представляется возможность пользоваться совершенно чистымъ метаномъ; газы, собираемые изъ трещинъ и буровыхъ скважинъ, содержатъ кромѣ CH_4 также различныя количества угольной кислоты, азота и кислорода (послѣдній—обыкновенно какъ примѣсь изъ воздуха). Тѣмъ не менѣе, названные газы вполнѣ пригодны къ примѣненію ихъ для анализовъ по методу воспламеняемости, если только въ нихъ опредѣлено точно содержаніе метана. Для этого находятъ тотъ объемъ взятаго газа, который необходимо прибавить къ чистому воздуху, чтобы получить предѣльную по воспламеняемости смѣсь.

Называя этотъ объемъ черезъ N, процентное содержаніе метана въ реактивѣ получается изъ выраженія:

$$100\,\frac{6}{N}.$$

Положимъ, что нужно было взять въ бюреткѣ n объемовъ такого газа, чтобы получить предѣлъ воспламеняемости для изслѣдуемой пробы воздуха копи; тогда процентное содержаніе метана x въ данномъ образцѣ находится изъ уравненія (6):

$$x^0/_0 = 6\left(1 - \frac{n}{N}\right)\frac{100}{100 - n}$$

или, если общій объемъ газовой смѣси = 1.000 объемамъ,

$$x = 60\left(1 - \frac{n}{N}\right)\frac{1000}{1000 - n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6\text{ bis}).$$

Величина N носитъ также названіе *титра реактива*. При каждой новой серіи опытовъ этотъ титръ долженъ быть провѣряемъ, такъ какъ составъ газа, заключеннаго въ стеклянной бутыли, подвергается съ теченіемъ времени измѣненіямъ. Ранѣе было уже упомянуто, что за недостаткомъ въ копи выдѣленій чистаго метана въ качествѣ реактива можно взять и посторонній, напримѣръ, свѣтильный газъ. Титръ послѣдняго слѣдуетъ опредѣлять возможно чаще, такъ какъ составъ свѣтильнаго газа можетъ

ежедневно мѣняться, въ особенности, если онъ получается на небольшихъ заводахъ. Но для газа съ большихъ заводовъ, съ равномѣрнымъ и однообразнымъ производствомъ, эти измѣненія сравнительно незначительны. По наблюденіямъ, произведеннымъ въ химической лабораторіи Горнаго Института, соотвѣтствующая величина для петербургскаго свѣтильнаго газа измѣняется отъ 8,2% до 8,5% Такъ, напримѣръ, въ теченіе восемнадцати мѣсяцевъ, при измѣреніи предѣла воспламеняемости парижскаго свѣтильнаго газа, Ле-Шателье получалъ числа, колебавшіяся между 8,1% и 8,2%.

При употребленіи свѣтильнаго газа, какъ реактива, приходится встрѣчаться съ однимъ источникомъ погрѣшностей, во избѣжаніе которыхъ необходимо принимать спеціальныя мѣры предосторожности. Именно, въ свѣтильномъ газѣ содержатся пары бензола и другихъ углеводородовъ, сравнительно легко растворимые въ водѣ при пропусканіи черезъ нее пузырьковъ газа. Когда же вода сдѣлается насыщенной по отношенію къ названнымъ веществамъ, то это сейчасъ же сказывается пониженіемъ предѣла воспламеняемости—иногда на нѣсколько десятыхъ процента. Для устраненія подобной ошибки необходимо имѣть въ ваннѣ значительный объемъ воды и возобновлять ее время отъ времени.

Составъ воздуха въ подземныхъ выработкахъ претерпѣваетъ измѣненія отъ поглощенія кислорода каменнымъ углемъ или отъ дыханія людей, а также отъ выдѣленій угольной кислоты. Возможно, что такія измѣненія должны имѣть вліяніе на предѣлъ воспламеняемости. Но опытъ показываетъ, что при замѣнѣ воздуха чистымъ кислородомъ предѣлъ воспламеняемости остается тѣмъ-же; слѣдовательно, тѣми колебаніями въ содержаніи кислорода (1—2%), которыя мы наблюдаемъ для рудничнаго воздуха, можно совершенно пренебречь.

Нѣсколько большее вліяніе имѣетъ угольная кислота, но и оно очень незначительно. Такъ, напримѣръ, при 2% угольной кислоты предѣлъ воспламеняемости повышается на 0,15%. Если не принимать этого во вниманіе, то числа, получаемыя для метана, будутъ нѣсколько ниже дѣйствительныхъ. Но содержаніе въ 2% углекислоты представляетъ величину, сравнительно рѣдко наблюдаемую въ практикѣ [1]) (при неправильно устроенной вентиляціи); поэтому для большинства случаевъ вліяніе названной примѣси является ничтожнымъ. Для достиженія большей точности полезно собирать газовыя пробы въ склянкахъ, наполненныхъ известковой водой, съ цѣлью поглощенія углекислоты. Тотъ же пріемъ можетъ оказаться пригоднымъ и при набираніи образцовъ реактивнаго газа изъ выдѣленій въ трещинахъ породъ и т. п.

Многочисленныя сравнительныя опредѣленія гремучаго газа, произведенныя по методу воспламеняемости и въ гризуметрѣ Кокильона - Ле-

[1]) Особенно измѣнчивымъ по содержанію составныхъ частей является воздухъ изъ старыхъ выработокъ, пространствъ съ закладкой пустой породы и т. п. Для изслѣдованія его болѣе цѣлесообразно примѣнять методы, описанные въ главахъ IV и V.

Шателье (см. IV главу), давали всегда результаты достаточно согласные между собою (въ предѣлахъ 0,1% CH_4). Такъ, напримѣръ, при опытахъ въ копяхъ *Ronchamp* (департаментъ Haute Saône) различными наблюдателями были получены слѣдующія числа для содержанія метана:

Газовыя пробы.	Предѣлъ воспламеняемости.	Гризуметръ Кокильона-Ле-Шателье.
Искусственно приготовленная смѣсь гремучаго газа (soufflard) и воздуха.	1,50%	1,49%
Исходящая вентиляц. струя (шахта Magny)	0,45 „	0,46 „
Штрекъ въ закладкѣ (шахта Magny).	0,12 „	0,13 „

На основаніи результатовъ опыта окончательное содержаніе метана въ испытуемой смѣси находится вычисленіемъ по уравненіямъ (6) или (6 bis). Для упрощенія процедуры вычисленія удобно составить заранѣе таблицы, изъ которыхъ можно было бы прямо найти содержаніе метана x, соотвѣтствующее возможнымъ для данной копи измѣненіямъ величинъ N и n. Для примѣра я приведу одну страницу изъ подобныхъ таблицъ, составленныхъ *Пуссигомъ* для копи *Ronchamp* [1]) (съ точностью до 0,1 % CH_4):

Таблица IV.

Примѣръ таблицы для опредѣленія содержанія метана.

Титръ реактива $N = 6{,}85\%$			
Объемъ n введеннаго реактива въ %.	Содержаніе метана въ %.	Объемъ n введеннаго реактива въ %.	Содержаніе метана въ %.
6,85	0	5,70	1,1
6,80	0,05	5,65	1,1
6,75	0,1	5,60	1,2
6.70	0,1	5,55	1,2
6,85	0,2	5,50	1,3
6,60	0,2	5,45	1,3
6,55	0,3	5,40	1,3
6,50	0,3	5,35	1,4
6,45	0,4	5,30	1,4
6.40	0,4	5,25	1,5
6,35	0.5	5,20	1,5
6.30	0,5	5,15	1,6
6,25	0,6	5,10	1,6
6,26	0,6	5,05	1,7
6.15	0,7	5,00	1,7
6,10	0,7	4,95	1,8
6,05	0,8	4,90	1,8
6,00	0,8	4,85	1,8
5,95	0,8	4,80	1,9
5,90	0,9	4,75	1.9
5,85	0,9	4,70	2,0
5,80	1,0	4,65	2,0
5.75	1,0		

[1]) *L. Poussigue*: Mesurages du courant d'air et du grisou. Société des houillères de Ronchamp. Belfort. 1900.

Аналогичныя таблицы должны быть вычислены для всего предѣла возможныхъ въ дѣйствительности значеній титра N реактива.

Имѣя въ виду упростить вычисленія содержаній метана и облегчить манипуляціи, *Лебретонъ* и *Рато* предложили сдѣлать въ приборѣ Ле-Шателье нѣкоторыя видоизмѣненія, оказавшіяся цѣлесообразными на практикѣ.

2. *Бюретка Лебретона* [1]).

Лебретонъ принялъ такой способъ градуированія, чтобы непосредственно отчитывать содержаніе гремучаго газа на самой бюреткѣ.

Называя черезъ V объемъ изслѣдуемой пробы воздуха, къ которому слѣдуетъ прибавить n объемовъ реактива для достиженія предѣла воспламеняемости, имѣемъ (при общемъ объемѣ газовой смѣси = 1000 об.):

$$V = 1000 - n.$$

Содержаніе метана x въ 1000 объемахъ газа находится изъ уравненія (6 bis):

$$x = \left(1 - \frac{n}{N}\right)\frac{60.000}{1000 - n} = \frac{60.000}{(1000 - n)\,N}(N - n)$$

или

$$x = \frac{60.000}{V\,N}(N - n) = B(N - n) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

При условіи $B = 1$, объемъ воздуха V опредѣляется выраженіемъ

$$V = \frac{60.000}{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

и искомое содержаніе метана получается непосредственно по разности $N - n$ (уравн. 7). Для свѣтильнаго газа, какъ реактива, величина титра N измѣняется обыкновенно между 79—83 об. (7,9%—8,3 %). При этихъ условіяхъ изъ уравненія (8) вычисляется:

при	$N = 79$	об.	$V = 759$ об.
„	„ $= 80$	„	„ $= 750$ „
„	„ $= 81$	„	„ $= 741$ „
„	„ $= 82$	„	„ $= 732$ „
„	„ $= 83$	„	„ $= 723$ „

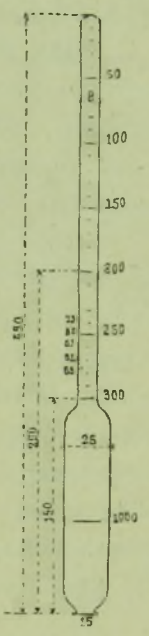
Такимъ образомъ, въ бюретку слѣдуетъ вводить перемѣнный объемъ изслѣдуемаго воздуха, въ зависимости отъ титра реактива. Напримѣръ, при $N = 80$, нужно взять $V = 750$, а такъ какъ наибольшая величина для $n = 80$, то максимальная сумма обоихъ объемовъ = 830; отсюда слѣдуетъ, что для полученія общаго объема газовой смѣси = 1000 необходимо добавить въ бюретку чистаго, не содержащаго горючихъ подмѣсей воздуха:

$$1000 - 830 = 170 \text{ обемовъ.}$$

[1]) *Lebreton*, Annales des mines (9) *6*, 289 (1894).

Чтобы съ удобствомъ производить это добавленіе, Лебретонъ видоизмѣнилъ бюретку Ле-Шателье слѣдующимъ образомъ (см. фиг. 5). Суженная часть бюретки содержитъ 300 дѣленій (при общемъ объемѣ бюретки = 1000 дѣл.), помѣщенныхъ на правой сторонѣ трубки; кромѣ того, лѣвая сторона послѣдней имѣетъ вторую градуировку, которая находится по отношенію къ первой въ слѣдующемъ положеніи:

Дѣленіе	79	находится противъ	241
„	80	„ „	250
„	81	„ „	260
„	82	„ „	269
„	83	„ „	277



Фиг. 5.

Объемы, заключающіеся между лѣвыми дѣленіями 79, 80, 81 и т. д. и нижней чертой = 1000, равны 759, 750 и т. д., т. е. тѣмъ количествамъ испытуемаго воздуха, которыя должны быть вводимы въ бюретку въ зависимости отъ титра реактива, согласно уравненію (8).

Кромѣ нанесенія двойной градуировки, Лебретонъ уменьшилъ вмѣстимость бюретки Ле-Шателье съ 200 до 50 куб. см., при чемъ пришлось сократить внутренній діаметръ расширенной части до 25 мм. Непосредственные опыты показали ему, что такое измѣненіе не оказало замѣтнаго вліянія на процессъ горѣнія.

При объемѣ бюретки въ 200 куб. см. нужно имѣть въ своемъ распоряженіи, по крайней мѣрѣ, литръ изслѣдуемаго газа для производства 4—5 опытовъ надъ воспламеняемостью въ теченіе анализа; между тѣмъ, бюретка въ 50 куб. см. позволяетъ ограничиться 250 куб. см. газовой пробы, а если производить анализъ, какъ указано выше съ прибавленіемъ чистаго воздуха, то можно обойтись и меньшимъ количествомъ. Во всякомъ случаѣ, переноска внутри копи сравнительно небольшихъ склянокъ въ 250 куб. см. не представляетъ большихъ затрудненій, чего нельзя сказать про бутыли въ 1—1,5 литра, особенно когда онѣ наполнены водой. Лучше брать склянки съ прямоугольнымъ сѣченіемъ (фиг. 6) и помѣщать ихъ другъ подлѣ друга въ кожаномъ чехлѣ съ соотвѣтствующимъ количествомъ отдѣленій. При взятіи газовой пробы выливаютъ въ желаемомъ мѣстѣ воду, которой наполнены склянки. Послѣднія должны быть затѣмъ тщательно закупорены каучуковыми пробками или герметическими пружинными затворами, въ

Фиг. 6.

родѣ тѣхъ, которые примѣняются въ бутылкахъ съ газированными жидкостями. Для уменьшенія потерь газа слѣдуетъ при набираніи пробъ оставлять въ склянкахъ небольшое количество воды и затѣмъ сохранять ихъ обращенными горломъ внизъ.

Для изученія колебаній содержанія метана въ воздухѣ выработокъ въ теченіе значительнаго періода времени, французскій инженеръ *Ити* построилъ особый гидравлическій приборъ, въ которомъ собираніе пробъ газа происходитъ автоматически, черезъ опредѣленные промежутки, напримѣръ, черезъ часъ [1]).

При анализѣ поступаютъ слѣдующимъ образомъ: сначала впускаютъ въ верхнюю часть измѣрительной трубки нѣкоторый объемъ газа-реактива, отчитывая его по правымъ дѣленіямъ бюретки. Напримѣръ, если реактивомъ служитъ свѣтильный газъ съ титромъ 80%, то вводятъ для начала, положимъ, 75 объемовъ. Затѣмъ впускаютъ чистый воздухъ до дѣленія 80 на лѣвой сторонѣ, а остальной объемъ бюретки до нижней черты (1000 об.) добавляютъ испытуемымъ газомъ. При послѣдующихъ опытахъ измѣняютъ постепенно объемъ реактива до тѣхъ поръ, пока не найдутъ предѣла воспламеняемости. Предположимъ, что послѣдній отвѣчаетъ 77 дѣленіямъ. По уравненію (7) содержаніе метана въ 1000 об. изслѣдуемой пробы:

$$x = 80 - 77 = 3 \text{ об., или } 0{,}3\%.$$

Нужно замѣтить, что бюретка Лебретона хотя и устраняетъ совершенно вычисленія при ходѣ анализа, но это преимущество значительно умаляется необходимостью вводить въ приборъ при каждомъ опытѣ чистый воздухъ и измѣрять его объемъ съ такою же точностью, какъ и объемъ реактива.

3. Бюретка Рато.

Стремясь къ той же цѣли, какъ и Лебретонъ, Рато [2]) конструировалъ бюретку, которая даетъ возможность непосредственно отсчитывать содержаніе гремучаго газа по дѣленіямъ на измѣрительной трубкѣ, но безъ прибавленія чистаго воздуха. Въ уравненіи (6 bis):

$$x = 60\left(1 - \frac{n}{N}\right)\frac{1000}{1000-n} = 60\left(\frac{N-n}{n}\right)\frac{1000}{1000-n}$$

величина для n обыкновенно не превосходитъ 85 (при свѣтильномъ газѣ, какъ реактивѣ), отчего значеніе коэффиціента $\frac{1000}{1000-n}$ въ первомъ приближеніи мало отличается отъ единицы. Принимая коэффиціентъ = 1, полу-

[1]) *P. Petit:* Note sur un autocapteur. Annales des mines. Fevrier, 1896. См. Отчетъ горн. инж. *К. Л. Абрама.* Горный Журналъ, 1899, т. III, 11.

[2]) *Rateau*, Annales des mines (9) *6*, 504 (1894).

чаемъ приближенно содержаніе гремучаго газа изъ слѣдующаго простого выраженія:

$$y = 60\frac{N-n}{N} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9),$$

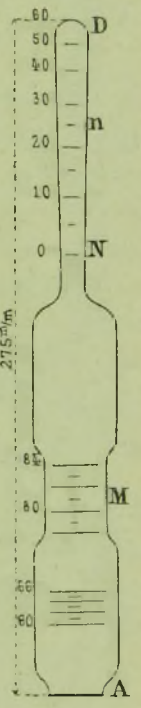
въ которомъ y пропорціоналенъ разности $N-n$.

Представимъ себѣ, что дѣленіе N бюретки (фиг. 7) отвѣчаетъ тому объему реактива, который даетъ предѣльную по воспламеняемости смѣсь съ чистымъ воздухомъ, добавленнымъ до черты M. Обозначимъ дѣленіе N черезъ нуль и раздѣлимъ объемъ трубки ND на 60 равныхъ частей, начиная отъ N. Если, напримѣръ, при изслѣдованіи данной газовой пробы предѣлъ воспламеняемости найденъ при 25 дѣленіи, то, очевидно, послѣднее число совершенно точно равняется значенію для y, получаемому изъ уравненія (9).

Чтобы избѣжать перемѣщенія нулевой точки N при опредѣленіи титра реактивныхъ газовъ, необходимо брать ихъ всегда одинъ и тотъ же объемъ ND и добавлять перемѣнныхъ объемовъ воздуха. Съ этой цѣлью расширенная часть бюретки Рато имѣетъ второй рядъ дѣленій, указывающихъ степень наполненія газовой смѣсью для возможныхъ въ дѣйствительности значеній (отъ 60 до 85) титра реактивовъ.

Но y не представляетъ точнаго значенія той величины, которую желательно имѣть; истинное содержаніе метана x изъ уравненія (6 bis) всегда немного выше y. Выражая разности $x-y$ въ функціи y и N, изъ формулъ (6 bis) и (9) мы находимъ:

$$x - y = \frac{y\,(60-y)}{\frac{6000}{N} - 60 + y} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$



Фиг. 7.

Изслѣдуя графически гиперболы, получаемыя для предѣльныхъ значеній титра N, Рато нашелъ, что максимумъ разности $x-y$ отвѣчаетъ величинамъ y, близкимъ въ 30 тысячнымъ (около 3% CH_4), и вообще не превосходитъ 1,3 тысячной CH_4 (0,13%). Можно было бы воспользоваться формулой (10) для вычисленія поправокъ различныхъ значеній y, находимыхъ изъ опыта, но проще всего сдѣлать эти поправки, соотвѣтственнымъ образомъ измѣняя разстоянія между дѣленіями градуировки. Подобная поправка была бы совершенно точна, если бы примѣняемый реактивъ имѣлъ бы постоянно одинъ и тотъ же титръ. Но такъ какъ величина послѣдняго мѣняется, то исправленіе дѣленій бюретки можетъ быть сдѣлано только для средней величины титра. На слѣдующей таблицѣ приведены объемы x, отвѣчающіе различнымъ y для средней величины титра = 80 тысячнымъ (свѣтильный газъ):

y	x
0	0
5	5,396
10	10,715
15	15,967
20	21,126
25	26,224
30	31,250
35	36,207
40	41,096
45	45,918
50	50,675
55	55,370
60	60

При такомъ способѣ поправки, ошибки, происходящія отъ измѣненія титра реактива, становятся настолько незначительными, что ими можно вполнѣ пренебречь. Такъ, напримѣръ, при употребленіи свѣтильнаго газа, какъ реактива ($N = 78 - 85$ об.), получается ошибка, менѣе чѣмъ 0,5 тысячныхъ ($0{,}05\%$), а при метанѣ—менѣе 0,3 тысячныхъ ($0{,}03\%$).

Градуированная описаннымъ способомъ бюретка представлена на фиг. 7. Верхней части ея Рато придалъ коническую форму съ той цѣлью, чтобы получить большую точность отсчета при небольшихъ содержаніяхъ CH_4 (до 1%), хотя въ этомъ врядъ ли представляется существенная необходимость.

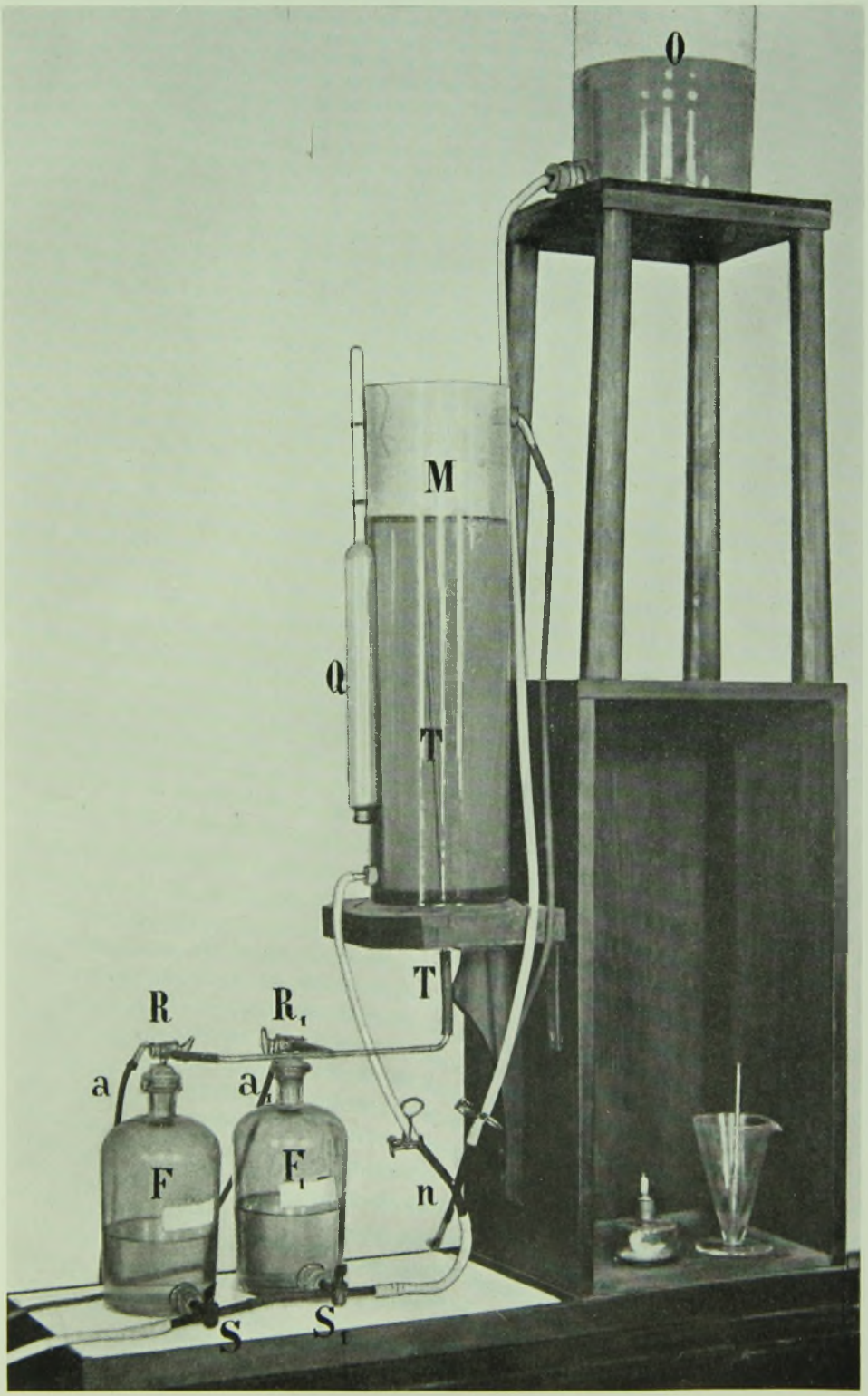
Въ области M бюретка является суженной для увеличенія разстояній между дѣленіями, вслѣдствіе чего они гораздо легче различаются другъ отъ друга [1]). Чтобы по возможности уменьшить нагрѣваніе газовой смѣси отъ теплоты руки, къ бюреткѣ прикрѣпляется на каучуковыхъ кольцахъ длинная стекляная палочка, служащая держалкой.

4. Ходъ работы по методу воспламеняемости.

Для манипуляцій со своей бюреткой Лебретонъ конструировалъ особую ванну, употребленіе которой сильно облегчаетъ введеніе и измѣреніе газовыхъ объемовъ. Тотъ-же аппаратъ можетъ быть примѣненъ при бюреткахъ Ле-Шателье и Рато. Для послѣднихъ число операцій при анализѣ меньше, такъ какъ не требуется, какъ въ бюреткѣ Лебретона, разбавленія испытуемой смѣси чистымъ воздухомъ, поэтому при названныхъ бюреткахъ первоначальный приборъ Лебретона примѣняется въ нѣсколько упрощенномъ видѣ и оказывается весьма цѣлесообразнымъ на практикѣ.

[1]) Бюретки Рато и Лебретона изготовляются M. Rouff'омъ въ *С. Этьеннѣ* (rue de Grand Moulin, 14).

Аппаратъ Ле Шателье-Лебретона.



Фиг. 8.

Далѣе я опишу ходъ работы съ аппаратомъ этого рода, находящимся въ химической лабораторіи Горнаго Института и приспособленномъ для пользованія бюретками Ле-Шателье въ 50—200 куб. (см. фиг. 8, табл. I). Въ такой формѣ приборъ является, по моему мнѣнію, наиболѣе удобнымъ для опредѣленіи метана по методу воспламеняемости [1]).

Водяной ванной здѣсь служитъ цилиндрическая стеклянная ванна M съ тремя тубусами. Черезъ нижній изъ нихъ проходитъ вертикальная капиллярная трубка T (внутр. діаметръ = 1,5 мм., при наружномъ діаметрѣ = 6 мм.), сообщающаяся съ склянками F и F_1 посредствомъ стеклянныхъ трехъ-ходовыхъ крановъ R и R_1. Для устраненія возможныхъ ошибокъ при манипуляціяхъ съ краномъ положеніе бокового хода въ немъ отмѣчено пятномъ (или бугоркомъ цвѣтной эмали) на соотвѣтствующей сторонѣ рукоятки крана. Сосуды F и F_1 снабжены внизу тубусами, въ которые вставлены мѣдные краны S и S_1, также съ тремя ходами. Направленіе послѣднихъ указывается двумя взаимно перпендикулярными чертами на рукояткахъ крановъ. Въ одной изъ склянокъ F помѣщается реактивъ, въ другой F_1 — чистый воздухъ при опредѣленіи титра, а при анализѣ—испытуемая газовая проба [2]). Краны S и S_1 служатъ для выпуска воды изъ сосудовъ F и F_1 во время наполненія послѣднихъ газовыми смѣсями, а также для впуска воды при вытѣсненіи газовъ.

Резервуаръ O питаетъ водою какъ ванну M, такъ и склянки F и F_1, при чемъ распредѣленіе воды происходитъ при помощи мѣдной тройчатки n съ двумя кранами (или зажимами) на концахъ.

Ходъ анализа распадается на двѣ операціи: 1) опредѣленіе титра реактива и 2) нахожденіе предѣла воспламеняемости испытуемой газовой пробы.

1. Опредѣленіе титра реактива. Реактивъ (свѣтильный или гремучій газъ) можетъ быть введенъ въ сосудъ F черезъ капилляръ T или посредствомъ каучуковой трубки a. Въ обоихъ случаяхъ необходимо предварительно вытѣснить водою газъ (или воздухъ), находящійся въ F и въ названныхъ трубкахъ, при чемъ краны S и S_1 повертываются въ положенія (1) и (3) (см. фиг. 9), при соотвѣтственномъ положеніи крана R. Затѣмъ кранъ S ставятъ въ положеніе (2) и всасываютъ реактивъ; когда сосудъ F наполнится въ достаточной степени, кранъ S приводятъ снова въ положеніе (1) и запираютъ верхній кранъ R, устанавливая рукоятку послѣдняго на 45° относительно вертикальной линіи.

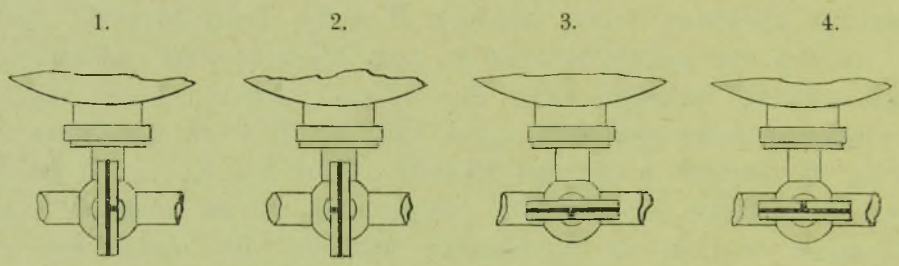
Совершенно такимъ же путемъ происходитъ введеніе чистаго воздуха въ сосудъ F_1.

---

[1]) Этотъ приборъ построенъ фирмой А. Эбергардъ въ С.-Петербургѣ (бывш. *P. Hinne*, Демидовъ переулокъ, 2).

[2]) При работѣ съ бюреткой Лебретона нужно имѣть всегда *три* склянки: въ первой находится реактивъ, во второй—чистый воздухъ и въ третьей—изслѣдуемая проба. Для бюретокъ Ле-Шателье и Рато достаточно *двухъ* сосудовъ.

Когда обѣ склянки F и F_1 наполнены реактивомъ и воздухомъ, краны S и S_1 приводятся въ положеніе (1) и (4), затѣмъ помѣщаютъ бюретку (Q) въ ванну M, надвигаютъ въ вертикальномъ положеніи на капилляръ T и ставятъ краны R и R_1 горизонтально эмалевой отмѣткой (или бугоркомъ) вверхъ; тогда подъ давленіемъ водяного столба въ ваннѣ и вслѣдствіе разности уровней верхняго края капилляра T и нижнихъ концовъ каучуковыхъ трубокъ a и a_1, заключенный въ бюретку воздухъ выходитъ черезъ T и замѣщается водой. Когда весь воздухъ будетъ уда-



Фиг. 9.

ленъ, берутъ правой рукой бюретку за прикрѣпленную къ ней стеклянную держалку, лѣвой рукой запираютъ кранъ R_1 и затѣмъ понемногу открываютъ кранъ R, ставя его рукоятку вертикально, при чемъ эмалевый знакъ долженъ быть обращенъ къ наблюдателю. Подъ давленіемъ воды въ резервуарѣ O, реактивный газъ переходитъ въ бюретку; приэтомъ скорость газовой струи можно измѣнять по произволу, управляя краномъ R. Представляется болѣе удобнымъ впустить сначала небольшой избытокъ газа, затѣмъ приподнять бюретку настолько, чтобы верхній край трубки T былъ бы немного погруженъ въ воду; поворачивая кранъ R въ горизонтальное положеніе, эмалевой отмѣткой вверхъ, заставляютъ воду вытекать черезъ трубки T и a. Если теперь пониженіемъ бюретки поставить уровень воды въ ней на одну высоту съ верхнимъ краемъ трубки T, то вмѣстѣ съ водой будетъ всасываться и нѣкоторое количество газа. Такимъ путемъ можно очень быстро довести объемъ реактива съ точностью до желаемой величины. Чтобы указанное обратное всасываніе газа совершалось съ легкостью, необходимъ внутренній діаметръ трубки T не менѣе 1,5 мм., при очень плавныхъ загибахъ; въ противномъ случаѣ капиллярныя силы оказываютъ большое сопротивленіе и препятствуютъ движенію воды. Послѣ измѣренія объема реактива запираютъ ходы крана R, ставя его на 45^0, и черезъ R_1 впускаютъ въ бюретку воздухъ изъ флакона F_1 до нижней черты въ расширенной части бюретки Ле-Шателье. Отчеты всѣхъ газовыхъ объемовъ должны производиться при одинаковыхъ высотахъ водяныхъ столбовъ въ ваннѣ и бюреткѣ. Послѣ наполненія отверстіе бюретки закрываютъ подъ водой большимъ пальцемъ, встряхи-

ваютъ для лучшаго смѣшенія газовъ и быстро поджигаютъ смѣсь, опуская въ отверстіе горящую спичку или прикрѣпленный на проволокѣ кусочекъ пемзы, который смачивается спиртомъ и зажигается на небольшой спиртовой лампочкѣ. Несвѣтящееся пламя спирта очень удобно для этой операціи, такъ какъ не мѣшаетъ наблюденію за появленіемъ блѣдно-голубого кольца, характеризующаго горючесть испытуемой смѣси. Во всякомъ случаѣ, полезно помѣщать бюретку при зажиганіи въ небольшой зачерненный внутри ящикъ, находящійся подъ стойками водяного резервуара *O*. Если составленная смѣсь не горюча, то опытъ повторяютъ съ меньшимъ объемомъ реактива и т. д. до отысканія предѣла воспламеняемости, какъ это было подробно изложено при описаніи бюретки Ле-Шателье (стр. 32). При небольшомъ навыкѣ для достиженія этой цѣли достаточно 4—5 опытовъ, требующихъ около 10 минутъ времени.

Найденная величина и есть *титръ реактива* (N).

2. Нахожденіе предѣла воспламеняемости испытуемой пробы воздуха. Послѣ возможно точнаго опредѣленія титра ставятъ горизонтально рукоятку крана R (отмѣткой внизъ) и вытѣсняютъ водою изъ сосуда F_1 находящійся въ немъ чистый воздухъ. Затѣмъ переводятъ сюда испытуемую газовую пробу изъ той склянки, которая служила для собиранія (см. фиг. 6); для этого склянка раскупоривается подъ водой въ ваннѣ M и надвигается горломъ на капилляръ T. Ставя краны S_1 и R_1 въ надлежащія положенія (подобно тому, какъ это было указано при опредѣленіи титра), всасываютъ испытуемый газъ въ сосудъ F_1.

Сначала вводятъ въ бюретку небольшой объемъ реактива, добавляютъ испытуемымъ воздухомъ до нижней черты, и производятъ опытъ воспламененія. Положимъ, что взятая смѣсь оказалась горючей, то уменьшаютъ послѣдовательно количество реактива при постоянномъ добавленіи изслѣдуемой газовой пробы до нижней черты, до тѣхъ поръ, пока не найдутъ предѣлъ воспламеняемости n. Изъ полученныхъ величинъ N и n процентное содержаніе метана въ пробѣ вычисляется по уравненію (6 bis):

$$x = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{600}{100 - n}.$$

Манипуляціи съ *бюреткой Рато* аналогичны только что описаннымъ. Различіе заключается въ томъ, что при опредѣленіи *титра реактива*, послѣдняго вводится постоянный объемъ — до нулевой черты въ верхней части бюретки (фиг. 7 — N), а чистаго воздуха впускаютъ перемѣнныя количества до различныхъ дѣленій въ нижней части. Предположимъ, что найденный предѣлъ воспламеняемости отвѣчаетъ 65 дѣленію; слѣдовательно, титръ взятаго реактива = 65 тысячнымъ (6,5 %).

Для отысканія предѣла воспламеняемости испытуемой газовой пробы, въ бюретку вводятъ нѣкоторый объемъ реактива, напримѣръ, 6 тысячныхъ

и добавляютъ изслѣдуемымъ воздухомъ до нижней черты 65, соотвѣтствующей титру, полученному при предыдущей операціи. Если эта смѣсь загорается, то при послѣдующихъ опытахъ количество реактива постепенно уменьшается, при чемъ каждый разъ испытуемый воздухъ добавляется до 65 черты. Для примѣра возьмемъ, что предѣлъ воспламеняемости отысканъ при введеніи 4 тысячныхъ реактива. Тогда содержаніе метана въ пробѣ = 4 тысячнымъ (на 1.000 объемовъ), или 0,4%.

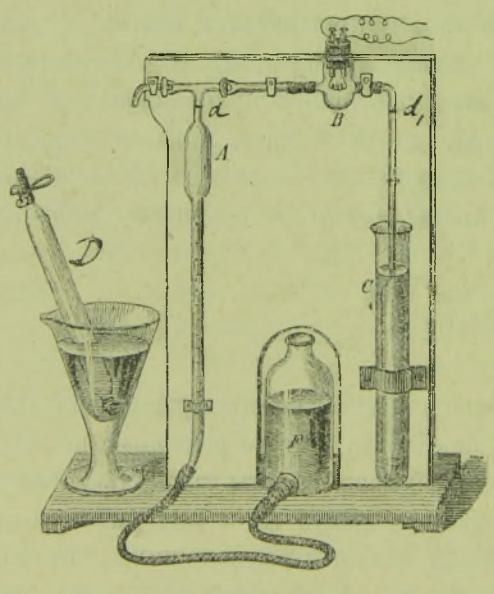
ГЛАВА IV.

Газометрическое опредѣленіе метана.

(Способъ Кокильона).

По основному методу эвдіометрическаго анализа, для опредѣленія небольшихъ количествъ горючихъ газовъ въ смѣсяхъ съ воздухомъ, приходилось сначала прибавлять къ испытуемой смѣси извѣстный объемъ водороднаго гремучаго газа (2 об. водорода + 1 об. кислорода) и затѣмъ уже производить взрывъ—посредствомъ пропусканія электрической искры. Одновременно съ полнымъ горѣніемъ прибавленнаго водорода происходило также и сожиганіе горючей составной части изслѣдуемаго газа.

Этотъ сложный пріемъ долгое время оставался единственнымъ при газовомъ анализѣ подобныхъ смѣсей, пока въ 1877 году Кокильонъ не показалъ, что самыя незначительныя количества горючихъ примѣсей въ воздухѣ сожигаются нацѣло при соприкосновеніи съ палладіевой проволокой, накаливаемой гальваническимъ токомъ. На этомъ принципѣ имъ были построены приборы для опредѣленія метана, названные *гризуметрами*.



Фиг. 10

Первоначальный типъ аппарата Кокильона для лабораторныхъ опредѣленій изображенъ на фиг. 10.

Приборъ состоитъ изъ расширенной вверху измѣрительной трубки A въ 25 куб. см., снабженной дѣленіями; на нижній конецъ ея надѣта каучуковая трубка для соединенія съ подвижнымъ сосудомъ F. Верхній конецъ измѣрительной трубки, при помощи стекляннаго капилляра и крана,

соединяется съ горѣлкой B, имѣющей форму швейнаго наперстка; въ верхнюю часть горѣлки вставлена каучуковая пробка съ пропущенными черезъ нее металлическими электродами, въ которыхъ зажимается свернутая спиралью палладіевая проволока. Съ правой стороны съ горѣлкой соединены капиллярная стеклянная трубка и колоколъ C, погруженный въ цилиндръ съ водой. Всѣ части прибора укрѣплены на вертикальной деревянной доскѣ, служащей штативомъ. Испытуемый образецъ газа помѣщается въ стеклянную трубку D, нижній конецъ которой открывается подъ водой въ подставленномъ снизу сосудѣ, а верхній соединяется возможно короткой и узкой каучуковой трубкой съ верхнимъ колѣномъ измѣрителя A.

Для производства анализа, соотвѣтствующимъ перемѣщеніемъ давящаго сосуда F наполняютъ водой измѣрительную трубку и колоколъ до постоянныхъ чертъ d и d_1, верхніе капилляры и горѣлка остаются при этомъ не наполненными и представляютъ мертвое пространство прибора. Затѣмъ, изслѣдуемый газъ переводится въ A и здѣсь измѣряется его объемъ, устанавливая на одномъ уровнѣ воду въ измѣрителѣ и въ давящемъ сосудѣ F. Послѣ этого зажимы электродовъ соединяютъ съ полюсами гальванической батареи и накаливаютъ добѣла палладіевую проволоку, при чемъ мимо нея медленно пропускается газовая смѣсь изъ трубки A въ колоколъ C и обратно (раза два или три). Послѣ охлажденія въ колоколѣ C газъ переводится снова въ измѣритель, гдѣ опредѣляется происшедшее при горѣніи сокращеніе объема. Раздѣляя послѣднее на два, получаютъ количество метана въ изслѣдуемой смѣси.

Ле-Шателье [1]), въ своемъ отчетѣ французской комиссіи гремучаго газа (10 іюля 1878 года), показалъ, что употребленіе палладіевой проволоки вовсе не представляется необходимымъ условіемъ для сожиганія углеводородовъ. Платина, какъ металлъ болѣе трудноплавкій и обладающій меньшей электропроводностью, можетъ служить гораздо болѣе цѣлесообразнымъ матеріаломъ для проволоки, накаливаемой токомъ. Кромѣ того, для полученія болѣе точныхъ результатовъ Ле-Шателье рекомендовалъ, между прочимъ, произвести въ первоначальномъ аппаратѣ Кокильона слѣдующія измѣненія:

1) погрузить въ ванну съ водою измѣритель и горѣлку для сохраненія болѣе постоянной температуры въ теченіе опыта;

2) Замѣнить каучуковыя пробки и трубки металлическими скрѣпленіями на мастикѣ;

3) измѣнить форму горѣлки;

4) устранить соприкосновеніе газовъ съ водой, растворяющей углекислоту, образующуюся при горѣніи.

Послѣдній источникъ погрѣшностей оказывается особенно ощутительнымъ при смѣсяхъ съ болѣе значительнымъ содержаніемъ метана.

---

[1]) См. *G. Chesneau*: L'analyse de l'air des mines, p. 235.

Какъ мы увидимъ далѣе, почти всѣ эти предложенія впослѣдствіи получили практическое осуществленіе.

Въ своей первоначальной формѣ приборъ Кокильона оказался прежде всего недостаточно чувствительнымъ и не получилъ примѣненія, но явился родоначальникомъ цѣлаго ряда болѣе совершенныхъ аппаратовъ, конструированныхъ какъ самимъ Кокильономъ, такъ и другими изслѣдователями. Гризуметры, основанные на сожиганіи метана при посредствѣ накаленной платиновой проволоки, представляются въ настоящее время весьма точными приборами, которые имѣютъ большое распространеніе на копяхъ Западной Европы.

Примѣняясь къ чисто практическимъ потребностямъ, техническая газометрія сдѣлала въ послѣднее время такіе значительные успѣхи, что нѣкоторыя видоизмѣненія гризуметровъ Кокильона, работающихъ ежедневно для контроля за дѣйствіемъ вентиляціи въ каменноугольныхъ копяхъ, могутъ быть поставлены наравнѣ съ лучшими аппаратами для газоваго анализа, примѣняющимися для самыхъ точныхъ изслѣдованій въ научныхъ лабораторіяхъ.

Измѣреніе газовыхъ объемовъ при основной реакціи полнаго горѣнія метана при обыкновенной температурѣ:

$$\underset{1\text{ об.}}{CH_4} + \underset{2\text{ об.}}{2O_2} = \underset{1\text{ об.}}{CO_2} + \underset{\text{жидк.}}{2\,H_2O}$$

даетъ возможность опредѣлить содержаніе метана *тремя способами*, при чемъ искомый его объемъ равняется:

1) половинѣ объемнаго сокращенія (2 об.) при сожиганіи;

2) объему образовавшейся углекислоты (1 об.) и

3) одной трети общей суммы объемовъ сокращенія и углекислоты (3 об.).

При быстромъ производствѣ многихъ анализовъ обыкновенно ограничиваются наблюденіемъ только одного сокращенія, но для болѣе точныхъ опредѣленій слѣдуетъ для контроля опредѣлять также и количество углекислоты. Въ главахъ I и II было показано, что при обыкновенномъ составѣ гремучаго газа объемъ углекислоты, полученной при горѣніи, долженъ равняться половинѣ объемнаго сокращенія.

Поэтому во всѣхъ гризуметрахъ типа Кокильона мы можемъ различить двѣ главныя и постоянно присутствующія части: 1) *горѣлку* и 2) *устройство для измѣренія объемовъ*. Приспособленіе для измѣренія углекислоты въ нѣкоторыхъ приборахъ не существуетъ совершенно. Разсмотримъ послѣдовательно конструкцію этихъ частей.

1) *Горѣлка*. Первоначальная ея форма, въ видѣ наперстка съ электродами наверху, оказалась непрактичной. Не говоря уже про большое вредное пространство, верхняя часть горѣлки во время сожиганія подвергается довольно сильному разогрѣванію, отчего присутствіе здѣсь каучуковой пробки нельзя считать цѣлесообразнымъ. Впослѣдствіи Шондорфъ, Кл.

Винклеръ [1]) и самъ Кокильонъ [2]) предложили вставлять электроды снизу и вытѣснять газовую смѣсь по окончаніи сожиганія черезъ верхній капилляръ въ измѣритель посредствомъ ртути (или воды). При такомъ расположеніи вредное пространство горѣлки уменьшается до минимума, разогрѣванію подвергается только верхняя стеклянная часть при герматическомъ (обыкновенно ртутномъ) запарѣ.

2) *Измѣритель.* Въ виду небольшихъ количествъ метана, которыя приходится опредѣлять въ рудничномъ воздухѣ, точное измѣреніе газовыхъ объемовъ имѣетъ большое значеніе въ гризуметрической практикѣ. Здѣсь уже нельзя пренебрегать измѣненіями температуры во время работы, какъ это обыкновенно дѣлается при техническомъ анализѣ многихъ газовыхъ смѣсей [3]). Ихъ необходимо принимать во вниманіе, вычисляя соотвѣтствующія поправки или приводя механически всѣ измѣренія при помощи особыхъ *регуляторовъ* къ одному постоянному значенію для температуръ и давленія.

Механическое приведеніе объемовъ (reduction) представляетъ одно изъ важнѣйшихъ усовершенствованій технической газометріи. Благодаря трудамъ Дойера, Лунге, Петерсона, Шондорфа, Гемпеля и др., примѣненіе его постепенно увеличивается. Причиною этому является возрастающая потребность промышленности въ быстрыхъ и точныхъ анализахъ газовъ, которыми стремятся замѣнить даже вѣсовыя опредѣленія. Лучшими примѣрами этому можно считать опредѣленія углерода въ желѣзѣ и стали, гдѣ вѣсовой анализъ начинаетъ вытѣсняться объемными опредѣленіями углекислоты въ аппаратахъ Выборга, Петерсона и Лунге. Для цѣлей гризуметріи регуляторы температуръ и давленія были примѣнены Шондорфомъ, Брокманомъ и Іеллеромъ. Въ видѣ примѣра аппаратовъ типа Кокильона, я опишу лишь два, какъ наиболѣе характерные и выработанные, а именно: *гризуметры Ле-Шателье и Шондорфа-Брокмана.*

I. *Гризуметръ Кокильона-Ле-Шателье* [4]).

Въ этомъ приборѣ (фиг. 11) изслѣдуемый газъ помѣщается въ закрытой стеклянной трубкѣ *A*, въ 20 мм. діаметромъ и 100 мм. высоты, которая служитъ одновременно для сожиганія и измѣренія объемовъ. При такомъ устройствѣ во все время анализа газъ находится въ одномъ и томъ же пространствѣ и необходимость его перемѣщеній изъ одной части прибора

---

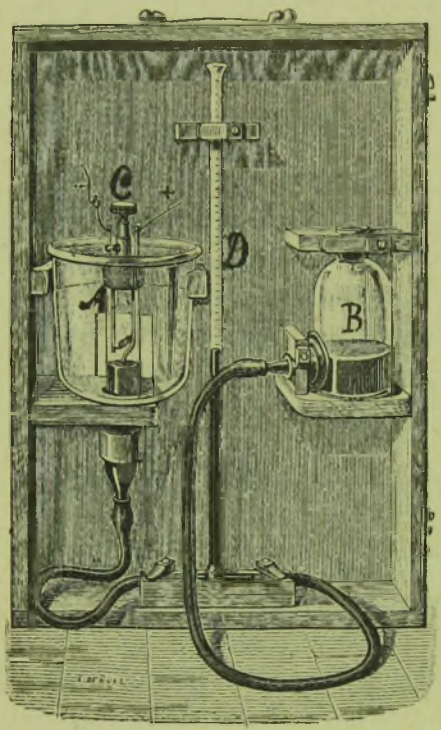
[1]) *Cl. Winkler*, Zeitschr. für analytische Chemie. *1889*, 286.

[2]) См. *Castel*, Annales des mines (7), t. *20*, p. 509; *Coquillon*, Comptes rendus mensuels de la Société de la Industrie minérale, 1893, p. 75; Mars., 1896.

[3]) Колебаніямъ температуры въ 1° С. и внѣшняго давленія на 1 мм. ртутнаго столба отвѣчаютъ измѣненія общаго объема газа въ 0,37% и 0,14%.

[4]) *Le Chatelier*, Annales de chimie et de physique (6) *29*, juillet, 1893; Annales des mines (9) 2, 469 (1892).

въ другую совершенно отпадаетъ, при чемъ устраняются потери отъ соприкосновенія съ каучукомъ и отъ несовершенства стеклянныхъ кранов[1]).



Фиг. 11.

Въ отличіе отъ другихъ гризуметровъ въ аппаратѣ Ле-Шателье наблюдаются измѣненія давленій при постоянномъ объемѣ изслѣдуемаго газа.

Для охлажденія во время процесса горѣнія измѣрительная трубка *A* окружена колоколомъ съ водою; на нижнемъ концѣ она сужена и соединяется каучуковой трубкой съ давящимъ сосудомъ *B*, наполненнымъ ртутью. Тотъ же сосудъ находится въ соединеніи съ стекляннымъ открытымъ манометромъ *D*, предназначеннымъ для измѣренія давленій газа.

Въ верхней части измѣрителя придѣлана на мастикѣ крышка изъ ферроникеля, сплава, который не ржавѣетъ и не амальгамируется при соприкосновеніи съ ртутью. Черезъ крышку проходятъ точный винтовой кранъ *C*, служащій для введенія и выпуска газовъ, а также два металлическіе электрода съ прикрѣпленною внизу платиновой проволокой для накаливанія. Одинъ изъ электродовъ уединенъ отъ металла крышки. Для приведенія газовой массы къ постоянному объему одинъ электродъ оканчивается ниже платиновой спирали остріемъ, до соприкосновенія съ которымъ всегда слѣдуетъ доводить поверхность ртути, находящейся въ измѣрителѣ.

При производствѣ анализа ртуть въ трубкѣ *A* доводится до нижняго конца острія при открытомъ кранѣ *C* и отчитывается высота манометра h_0, которая является нулевымъ пунктомъ для сравненія другихъ отчетовъ. Затѣмъ выпускаютъ весь воздухъ, поднимая уровень ртути въ измѣрительной трубкѣ, и соединяютъ приборъ при помощи бокового колѣна и возможно короткой и узкой каучуковой трубки съ резервуаромъ, содержащимъ испытуемую газовую пробу. Вытѣсняя газъ изъ резервуара водой, его переводятъ въ измѣритель при соотвѣтствующемъ пониженіи сосуда *B*. Ртутную поверхность въ трубкѣ *A* опускаютъ примѣрно до конца острія,

[1]) Совмѣщеніе горѣлки и измѣрителя въ одномъ пространствѣ имѣется также и въ другихъ гризуметрахъ, напримѣръ, въ аппаратѣ *проф. Грешана (Gréhant*, Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, 1897, decembre). Существеннымъ недостаткомъ этого прибора является впайка платиновой проволоки для накаливанія въ стеклянныя стѣнки сожигательной камеры. Очевидно, что такое устройство не можетъ быть долговѣчнымъ.

запираютъ *кранъ* и оставляютъ газъ въ приборѣ около *пяти* минутъ. По прошествіи этого времени, когда можно считать, что установилось тепловое равновѣсіе съ окружающей средой, наблюдаютъ температуру (съ точностью до 0,1°) посредствомъ термометра, погруженнаго въ воду колокола, и производятъ отчетъ h манометра, при точномъ соприкосновеніи ртути съ остріемъ. Для болѣе сильнаго освѣщенія поверхностей металла въ задней стѣнкѣ ящика сдѣланъ вырѣзъ, которымъ приборъ обращается къ окну или искусственному источнику свѣта. Само собою разумѣется, что во время всѣхъ этихъ манипуляцій приборъ долженъ оставаться неподвижнымъ, въ противномъ случаѣ можетъ измѣниться начальная величина (h_0) въ показаніи манометра. Если обозначить атмосферное давленіе черезъ H, то давленіе P взятаго газа будетъ равняться:

$$P = H + h - h_0.$$

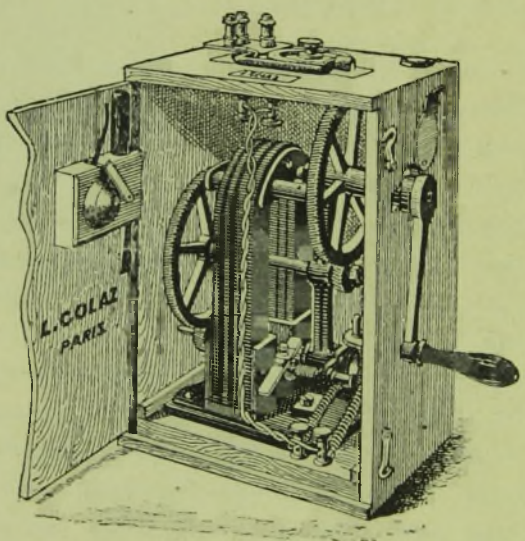
Для сожиганія смѣси платиновая проволока накаливается электрическимъ токомъ. Расположеніе проволоки и ея температура имѣютъ большое вліяніе на скорость сожиганія. Такъ, напримѣръ, проволочная спираль оказываетъ больше дѣйствія, чѣмъ прямая проволока той же длины. Въ первомъ случаѣ мы производимъ нагрѣваніе меньшей массы газа, чѣмъ во второмъ, и накаливаемъ газъ до температуры болѣе высокой. Спираль должна помѣщаться въ нижней части трубки A для того, чтобы вся масса газа могла придти въ соприкосновеніе съ спиралью подъ вліяніемъ циркуляціонныхъ токовъ, вызываемыхъ нагрѣваніемъ. Очевидно, что процессъ горѣнія будетъ идти тѣмъ быстрѣе, чѣмъ болѣе накалена спираль, температура которой должна находиться между 1300° и 1600° С. При низшей температурѣ сожиганіе идетъ слишкомъ медленно, при болѣе высокой — легко сплавить платиновую проволоку. Поэтому долженъ существовать нѣкоторый навыкъ въ опредѣленіи надлежащей температуры; именно, слѣдуетъ нагрѣвать проволоку до бѣлаго каленія, но не такъ сильно, чтобы глазъ переставалъ различать отдѣльные обороты спирали. Хорошіе результаты получаются при употребленіи проволоки въ 0,3 мм. діаметромъ, свернутой въ спираль изъ 6 оборотовъ, отстоящихъ другъ отъ друга на 1 мм., при діаметрѣ въ 3 мм. Примѣняя проволоку изъ сплава платины съ 3% мѣди, обладающаго меньшей электропроводностью, чѣмъ чистая платина, можно употреблять для накаливанія болѣе слабые токи. При пользованіи батареей, необходимо ввести въ цѣпь реостатъ съ перемѣннымъ сопротивленіемъ для регулированія по желанію силы тока.

Особенно удобными для накаливанія оказались небольшія ручныя магнито-электрическія машинки (фиг. 12), конструированныя Дюкретэ въ Парижѣ для артиллерійскихъ цѣлей, съ максимальной силой тока = 6 амперамъ, при электродвижущей силѣ въ 12 вольтъ.

Регулированіе тока въ нихъ совершается весьма легко, болѣе или менѣе быстрымъ вращеніемъ рукоятки; машина легко переносится, ком-

пактна и всегда готова къ употребленію. Къ сожалѣнію, цѣна этихъ машинъ довольно высока (450 франковъ [1]).

Для полнаго сожиганія достаточно накаливать спираль въ теченіе 15 секундъ; опытъ показываетъ, что гораздо цѣлесообразнѣе производить накаливаніе въ два или три пріема, раздѣленные промежутками въ нѣсколько секундъ, для лучшаго перемѣшиванія газовъ. При первомъ накаливаніи часть газа, вслѣдствіе расширенія, можетъ вытѣсняться внизъ за предѣлы активнаго вліянія спирали. Перерывъ въ нагрѣвѣ и послѣдующее за нимъ сокращеніе объема снова приводятъ смѣсь въ благопріятныя условія для сожиганія, чему можно помочь также подниманіемъ давящаго сосуда B; но вообще слѣдуетъ избѣгать соприкосновенія обоихъ электродовъ съ поверхностью ртути, такъ какъ накаливаніе спирали при этомъ становится невозможнымъ.



Фиг. 12.

Когда процессъ оконченъ, необходимо дать прибору охладиться въ теченіе десяти минутъ. Такое охлажденіе является обязательнымъ условіемъ для успѣха и точности опыта. Послѣ этого измѣряется температура t_1 и высота h_1 въ манометрѣ. Давленіе газа будетъ равняться:

$$P_1 = H + h_1 - h_0.$$

Количество метана вычисляется по уменьшенію давленія $h_1 - h$ газовой массы при *постоянномъ объемѣ* [2]), исправленномъ относительно измѣненій температуры и внѣшняго давленія совершенно обратно тому, какъ это дѣлается въ другихъ аппаратахъ, въ которыхъ измѣряется уменьшеніе объема при постоянномъ давленіи.

---

[1]) Приборъ Кокильона-Ле Шателье изготовляется механикомъ *L. Golaz* въ Парижѣ (23 bis, Avenue du Parc de Montsouris).

[2]) Этотъ-же пріемъ измѣренія примѣненъ въ сложномъ аппаратѣ для изслѣдованія гремучаго газа, конструированномъ *Геллеромъ* (Zeitschr. f. angewandte Chemie, *1896*, 692).

Какъ извѣстно, соотношеніе между давленіемъ P, объемомъ V, абсолютной температурой $T = t + 273^0$ С. и числомъ частицъ (молекулъ) N газовой массы выражается уравненіемъ

$$PV = RNT,$$

въ которомъ величина константы R зависитъ отъ единицы, принятой для измѣренія. Послѣ процесса сожиганія при постоянномъ объемѣ V имѣемъ для новыхъ значеній P_1, N_1 и T_1:

$$P_1 V = RN_1 T_1.$$

Исключая величины R и V, находимъ:

$$\frac{P - P_1}{P} = \frac{NT - N_1 T_1}{NT} = \frac{T - T_1}{T} + \frac{N - N_1}{N} \cdot \frac{T_1}{T} \quad \ldots\ldots (11)$$

Количество x метана въ 100 об. испытуемой смѣси (принимая $V = 100$ об.) равняется половинѣ сокращенія объема (при постоянной температурѣ и давленіи), дѣленному на первоначальный объемъ газа. Но по закону Авогадро объемы газовъ пропорціональны числу заключающихся въ нихъ частицъ, слѣдовательно

$$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{N - N_1}{N},$$

откуда

$$\frac{N - N_1}{N} = 2x.$$

Вставляя эту величину въ уравненіе (11) и замѣняя P и P_1 ихъ значеніями

$$P = H + h - h_0$$
$$P_1 = H + h_1 - h_0,$$

получаемъ:

$$x = \frac{1}{2}\left(\frac{h_1 - h}{H + h_1 - h_0} - \frac{t_1 - t}{t + 273}\right)\frac{t + 273}{t_1 + 273}.$$

Въ дѣйствительности, разница между температурами t и t_1 обыкновенно не бываетъ болѣе 1^0, почему выраженіе $\frac{t + 273}{t_1 + 273}$ можно принять за единицу, съ погрѣшностью, не превышающей $\frac{1}{300}$ опредѣляемой величины x. Тогда для вычисленія x имѣемъ болѣе простое выраженіе:

$$x = \left(\frac{h_1 - h}{H + h_1 - h_0} - \frac{t - t_1}{t_1 + 273}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

Для многихъ случаевъ можно даже пренебречь вторымъ членомъ въ скобкахъ. При такомъ допущеніи вычисляется метана меньше на 0,1—0,2%, что не имѣетъ особаго значенія при содержаніяхъ $CH_4 > 1\%$.

Полагая точность отсчетовъ по термометру $= {}^1/_{10}{}^\circ$, по манометру $=$ $=0{,}5$ мм. ртути и ошибку въ высотѣ при соприкосновеніи острія съ поверхностью ртути $= 0{,}05$ мм., Ле-Шателье вычисляетъ для своего аппарата возможную погрѣшность въ опредѣленіи въ 0,1—0,15% CH_4. При работѣ особенно важно удостовѣриться въ плотномъ запорѣ крана и герметичности соединенія крышки съ измѣрительной трубкой. Для этого наполняютъ трубку воздухомъ, тщательно закрываютъ кранъ и производятъ, какъ было указано выше, измѣренія температуры и давленія; затѣмъ опускаютъ давящій сосудъ B настолько, чтобы получить пониженіе высоты ртути примѣрно на 10 см., и оставляютъ приборъ стоять въ теченіе часа. Послѣ этого снова измѣряютъ температуру и давленіе, при чемъ не должно получиться никакого измѣненія въ объемѣ газовой массы, т. е.

$$\frac{h_1 - h}{H + h_1 - h_0} - \frac{t - t_1}{t_1 + 273} = 0.$$

Аппаратъ Кокильона-Ле Шателье расходуетъ для анализа небольшое количество газовой пробы (50—100 куб. см.). По простотѣ устройства и незначительному объему онъ можетъ оказаться особенно пригоднымъ въ отдѣльныхъ случаяхъ для непосредственнаго контроля вентиляціи, при повѣркахъ показаній лампъ Пилера, Шено и вообще тогда, когда оказывается необходимымъ переносить изслѣдованія съ одного мѣста на другое, а пересылка газовыхъ пробъ требуетъ много времени.

Для производства постоянныхъ, систематическихъ опредѣленій въ значительномъ количествѣ болѣе удобнымъ и точнымъ является другой приборъ системы Кокильона, детально разработанный химикомъ прусской комиссіи для изслѣдованія гремучаго газа, докторомъ *А. Шондорфомъ*.

2. Гризуметръ Кокильона-Шондорфа.

Въ первой половинѣ восьмидесятыхъ годовъ прусская комиссія устроила спеціальную лабораторію въ Бохумѣ для химическихъ изслѣдованій гремучаго газа, поручивъ ея завѣдываніе доктору Шондорфу, уже занимавшемуся раньше опредѣленіями состава рудничнаго воздуха [1]). Это учрежденіе существуетъ въ настоящее время на средства вестфальской горной кассы (Berggewerkschaftskasse) и имѣетъ своей главной задачей производство анализовъ для обязательнаго контроля вентиляціи на каменноугольныхъ копяхъ Дортмундскаго горнаго округа.

При ежедневныхъ изслѣдованіяхъ газовыхъ пробъ, присылаемыхъ въ Бохумскую лабораторію въ громадномъ количествѣ, примѣняется гризуметръ Кокильона-Шондорфа, нѣсколько видоизмѣненный и упрощенный нынѣшнимъ завѣдующимъ лабораторіею докторомъ *Брокманомъ*.

---

[1]) *A. Schondorff*: Аппараты Бохумской лабораторіи, Preus. Zeitschr. f. Berg-Hütten u. Salinenwesen, Bd. 35; Anlagen zum Haupt-Bericht, Bd. I, 24.

Какъ видно яснѣе всего изъ схематическаго чертежа (фиг. 13), главными частями этого прибора являются:

1) измѣрительная трубка A для наблюденія объемовъ газа при постоянномъ давленіи;

2) сосудъ B для поглощенія углекислоты;

3) грушевидная горѣлка C

и 4) водяной манометръ D.

Названныя части соединены между собою при помощи толстостѣнныхъ стеклянныхъ капилляровъ съ отверстіемъ менѣе 1 миллиметра и каучуковыхъ смычекъ g. Три хорошо пришлифованныхъ стеклянныхъ крана h_1, h_2 и h_3 съ внутреннимъ каналами, изогнутыми подъ угломъ въ 90°, служатъ для запора и разобщенія отдѣльныхъ частей прибора.

Фиг. 13.

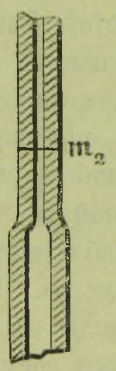
1) *Измѣритель* A состоитъ изъ цилиндрической стеклянной трубки, раздѣленной на 500 частей. Такая форма измѣрителя позволяетъ изслѣдовать гремучіе газы съ любымъ содержаніемъ металла. Для устраненія значительныхъ колебаній температуры во время опыта измѣрительная трубка окружена цилиндрической стеклянной ванной M, наполненной водой, температура которой наблюдается посредствомъ помѣщеннаго внутри термометра. Для большинства случаевъ можно не наливать воды въ M и ограничиться воздушной ванной внутри этого сосуда.

Толстостѣнная каучуковая трубка соединяетъ внизу измѣритель съ ртутнымъ резервуаромъ E, перемѣщаемымъ вверхъ и внизъ по зубчатой деревянной или металлической рейкѣ. Металлическія рейки гораздо болѣе удобны для работы; управляя имѣющимся у нихъ рычажкомъ, можно остановить ртутный резервуаръ E на желаемой высотѣ рейки. При открываніи зажима q_1 и соотвѣтствующемъ положеніи резервуара E, ртуть можетъ наполнять измѣритель или выпускаться изъ него. Для небольшихъ и окончательныхъ передвиженій ртутнаго столба служитъ винтовой зажимъ q_2, помѣщаемый на каучуковой трубкѣ выше перваго зажима q_1; запирая q_1 и дѣйствуя винтовымъ зажимомъ q_2 на каучуковую трубку, можно довести ртутный столбъ до желаемой высоты.

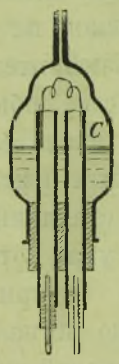
Въ первоначальномъ приборѣ Шондорфа всѣ измѣренія объемовъ производились при помощи катетометра, но для обыкновенныхъ цѣлей техническаго анализа такая степень точности является излишней.

Кранъ h_1 въ верхней части измѣрительной трубки соединяетъ послѣднюю съ тремя капиллярными отростками a_1, a_2 и g, изъ которыхъ первый служитъ для наполненія прибора испытуемой газовой смѣсью, второй—для удаленія газоваго остатка послѣ окончанія анализа, а третій сообщаетъ трубку A съ другими частями аппарата.

2) Въ сосѣдствѣ съ измѣрителемъ находится колоколъ *B для поглощенія углекислоты*, погруженный въ стеклянный цилиндръ съ крѣпкимъ растворомъ ѣдкаго кали (1 ч. *KOH*, 2 ч. воды); черта m_2 опредѣляетъ высоту, до которой слѣдуетъ каждый разъ поднимать растворъ щелочи послѣ окончанія поглощенія. Смотря по положенію колѣнчатаго канала въ кранѣ h_2, измѣрительная трубка можетъ быть соединена или съ колоколомъ B, или съ краномъ h_3. Пониженіе уровня щелочи въ капиллярѣ, при переведеніи газа въ поглотитель B, слѣдуетъ производить очень медленно, чтобы дать возможность раствору стечь со стѣнокъ капилляра. Въ противномъ случаѣ, образующіяся впослѣдствіи капли раствора ѣдкаго кали при обратномъ движеніи газа попадутъ въ кранъ или въ соединительныя трубки, что поведетъ къ ошибкамъ въ опредѣленіи углекислоты и сокращеніи. Поэтому цѣлесообразно придавать соединительному капилляру форму, представленную на фиг. 14 (Брокманъ).



Фиг. 14.



Фиг. 15.

3) *Горѣлка C* представляетъ грушевидный сосудъ, закрытый снизу каучуковою пробкою, съ пропущенными черезъ нее тремя стеклянными трубками; на одну изъ нихъ надѣвается каучуковая трубка для соединенія съ ртутнымъ резервуаромъ G, двѣ другія служатъ для вставленія концовъ платиновой спирали для накаливанія. Въ нижней части онѣ закрыты каучуковыми пробками, черезъ которыя проходятъ электроды изъ толстой платиновой проволоки (фиг. 15).

Послѣ наполненія ртутью обѣ трубочки являются проводниками тока отъ электродовъ къ концамъ спирали. По Шондорфу, для полнаго горѣнія достаточно двухъ оборотовъ спирали изъ платиновой проволоки въ 0,6 мм. діаметромъ.

4) Характерной частью прибора Шондорфа является *регуляторъ*, или водяной манометръ D, служащій для приведенія газовыхъ объемовъ къ нѣкоторой постоянной величинѣ. Онъ состоитъ изъ стеклянной трубки въ 2,5 мм. діаметромъ съ шарообразнымъ расширеніемъ K, на нижнемъ концѣ которой насажена резиновая трубка отъ водянаго резервуара F; послѣдній можетъ перемѣщаться въ вертикальномъ направленіи по деревянной или металлической штангѣ. Если дать кранамъ h_1, h_2, h_3 положенія, показанныя на фиг. 13, то образуется непосредственное сообщеніе манометра съ

измѣрительной трубкой A; доводя каждый разъ при наблюденіи газоваго объема уровень воды въ стеклянной трубкѣ манометра до черты m_4, мы будемъ имѣть газъ подъ давленіемъ, которое отличается отъ атмосфернаго на высоту столба воды, равнаго разности уровней воды въ колѣнахъ манометра. Передвигая резервуаръ F, можно дать высотѣ водяного столба такую величину, которая оказалась бы достаточной для уравновѣшиванія измѣненій въ температурѣ ванны M и барометрическаго давленія, происшедшихъ со времени перваго измѣренія газоваго объема. При такихъ условіяхъ всѣ измѣренія будутъ приведены каждый разъ къ опредѣленнымъ начальнымъ значеніямъ температуры и давленія.

Обозначимъ черезъ H барометрическое давленіе, t — температуру ванны M, f — упругость водяного пара при t° C во время перваго измѣренія объема газа и черезъ H_1, t_1 и f_1—соотвѣтствующія величины при одномъ изъ послѣдующихъ наблюденій.

Производя измѣренія при полномъ насыщеніи водяными парами и при атмосферномъ давленіи, т. е. когда разность уровней въ колѣнахъ манометра равна нулю, мы получили бы для одного и того же количества газа, занимавшаго при первомъ измѣреніи объемъ = 1, при второмъ наблюденіи нѣкоторый другой объемъ v:

$$v = \frac{(273 + t_1)(H - f)}{(273 + t)(H_1 - f_1)}.$$

Если передвинуть водяной резервуаръ F вверхъ на h миллиметровъ, то для того-же самаго количества газа при условіяхъ второго измѣренія наблюдался бы объемъ:

$$v_1 = \frac{(273 + t_1)(H_1 - f)}{(273 + t)(H_1 - f_1 + h/_{13{,}57})}.$$

Перемѣщеніе h можно сдѣлать такимъ, чтобы

$$v_1 = v;$$

тогда

$$h = 13{,}57\left(\frac{H - f}{t + 273}\triangle t + \triangle f - \triangle H\right),$$

гдѣ

$$\triangle t = t_1 - t,\ \triangle H = H_1 - H \text{ и } \triangle f = f_1 - f.$$

При этомъ количество газа, занимавшее во время перваго наблюденія единицу объема, будетъ имѣть тотъ-же объемъ при второмъ и послѣдующихъ измѣреніяхъ; слѣдовательно, всѣ отчеты дадутъ числа, непосредственно сравнимыя между собою.

Такъ какъ измѣненіе температуры $\triangle t$ обыкновенно незначительно и въ теченіе анализа рѣдко превышаетъ одинъ градусъ, то можно принять безъ особыхъ погрѣшностей прямую пропорціональность между измѣненіями $\triangle t$ и $\triangle f$, или

$$\triangle f = C\triangle t,$$

гдѣ C — нѣкоторый коэффиціентъ, величина котораго измѣняется отъ 0,8—1,0 при температурахъ, близкихъ къ обыкновенной (14°—20° С.).

При такомъ предположеніи выраженіе для h принимаетъ видъ:

$$h = 13{,}57 \left(\frac{H-f}{273+t} + C \right) \triangle t - 13{,}57 \triangle H.$$

Полагая

$$\frac{H-f}{273+t} + C = M,$$

получаемъ весьма простую двучленную формулу:

$$h = 13{,}57 M \triangle t - 13{,}57 \triangle H. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Первый членъ ея выражаетъ въ миллиметрахъ водяного столба измѣненія температуры, а второй членъ — колебанія давленія въ продолженіе опыта.

Величина M, вычисленная для крайнихъ возможныхъ колебаній температуры (0°—30° С.) и давленія (700—820 мм.), приведены на слѣдующей таблицѣ:

Таблица V.

° С.	Барометрическое давленіе въ м.м. ртутнаго столба.												
	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820
0°	2,89	2,93	2,96	3,00	3,04	3,08	3,11	3,15	3,19	3,22	3,26	3,30	3,33
1°	90	94	97	01	05	69	12	16	20	23	27	31	34
2°	91	95	98	02	05	09	13	16	20	23	27	31	34
3°	93	97	3,00	04	07	11	15	18	22	25	29	32	36
4°	94	98	01	05	08	12	16	19	23	26	30	33	37
5°	96	3,00	03	07	10	14	18	21	25	28	32	35	39
6°	98	02	05	09	12	16	20	23	27	30	34	37	41
7°	3,00	04	07	11	14	18	22	25	27	32	36	39	43
8°	02	06	09	43	16	20	24	27	29	34	38	41	45
9°	04	08	11	15	18	22	25	29	33	36	40	43	47
10°	07	11	14	18	21	25	28	32	36	39	43	46	49
11°	10	14	17	21	24	28	31	35	39	42	46	49	52
12°	12	16	19	23	26	30	33	37	41	44	48	51	54
13°	15	19	22	26	29	33	36	40	44	47	51	54	57
14°	19	23	26	30	33	37	40	44	48	51	55	58	61
15°	22	26	29	33	36	40	43	47	51	54	58	61	64
16°	26	29	33	37	40	44	47	51	55	58	62	65	68
17°	30	33	37	40	44	47	50	54	57	61	64	67	71
18°	34	37	41	44	48	51	54	58	61	65	68	71	75
19°	39	42	46	49	53	56	59	63	66	70	73	76	80
20°	43	46	50	53	57	60	63	67	70	74	77	80	84
21°	48	51	55	58	62	65	68	72	75	79	82	85	89
22°	53	56	60	63	67	70	73	77	80	84	87	90	94
23°	59	62	66	69	73	76	79	83	86	90	93	96	4,00
24°	65	68	72	75	79	82	85	89	92	96	99	4,02	06
25°	71	74	78	81	84	88	91	94	97	4,01	4,04	07	11
26°	77	80	84	87	90	94	97	4,00	4,03	07	10	13	17
27°	84	87	91	94	97	4,01	4,04	07	10	14	17	20	24
28°	91	94	98	4,01	4,04	08	11	14	17	21	24	27	31
29°	98	4,01	4,05	08	11	15	18	21	24	28	31	34	38
30°	0,46	09	13	16	19	23	26	29	32	36	39	42	46

Чтобы устранить всякія вычисленія при ходѣ анализа, Шондорфъ соединилъ резервуаръ F съ особой счетной машиной изъ двухъ подвижныхъ линеекъ; установивъ ихъ по наблюдаемымъ значеніямъ температуры и давленія, прямо получалась искомая высота h въ манометрѣ. Но это деликатное и дорого стоящее приспособленіе не получило распространенія [1]).

Въ обыкновенныхъ условіяхъ работы приведеніе объемовъ можетъ быть сдѣлано гораздо проще. Дѣйствительно, при незначительной продолжительности анализа (около 20—30 минутъ) измѣненіями атмосфернаго давленія $\triangle H$ можно пренебречь, тогда

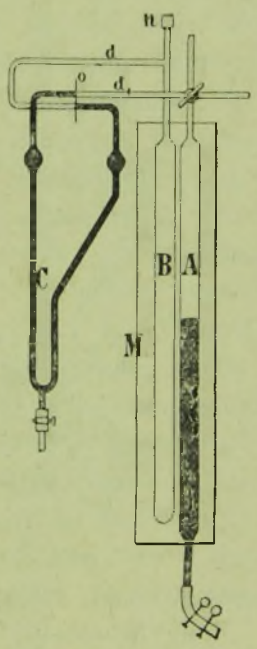
$$h = 13{,}57 M \triangle t \quad . \quad . \quad . \quad : \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

При нормальномъ ходѣ анализа $\triangle t$ обыкновенно не превышаетъ 1°; для среднихъ значеній $t = 17°$ и $H = 760°$, коэффиціентъ $M = 3{,}5$, слѣдовательно,

$$h = 13{,}57 \,.\, 3{,}5 = 47{,}49 \text{ мм.}$$

---

[1]) Въ гризуметрѣ, находящемся въ Саарбрюкенской горной лабораторіи, мнѣ пришлось видѣть регуляторъ для приведенія объемовъ, основанный на принципѣ, который былъ примѣненъ Петерсономъ и Гемпелемъ въ ихъ аппаратахъ для точнаго анализа газовъ (*Petterson*, Zeitschr. f. analytische Chemie. 1887, 479; Berichte d. deutsch. chem. Gesellschaft, 1887, 2129; *Hempel*, Ber. d. deutsch. chem. Gesellschaft, 1887, *20*, 2341). Всего прибора я не описываю, такъ какъ онъ отличается необыкновенной и совершенно излишней сложностью конструкціи; такъ, напримѣръ, измѣритель его состоитъ изъ трехъ отдѣльныхъ трубокъ, имѣется особое устройство для насыщенія газа водяными парами и т. п.



Фиг. 16.

Схема названнаго регулятора представлена на фиг. 16. A—измѣритель, B—стеклянный резервуаръ, наполненный воздухомъ и погруженный рядомъ съ измѣрителемъ въ стеклянную ванну съ водой M. На концѣ n трубка B закрыта наглухо. Отъ верхней части воздушнаго резервуара и измѣрителя идутъ капиллярныя трубки d и d_1, соединяющіяся съ обоими колѣнами водянаго манометра C; для большей чувствительности показаній послѣдняго верхнія части колѣнъ расположены горизонтально другъ надъ другомъ, съ нулевой чертой посрединѣ (0).

Заключенный въ закрытой трубкѣ регулятора постоянный объемъ воздуха подвергается въ измѣрителѣ, вмѣстѣ съ изслѣдуемымъ газомъ, однимъ и тѣмъ же измѣненіямъ температуры и давленія и служитъ для приведенія объемовъ къ начальному состоянію. Съ этой цѣлью всѣ отчеты высоты ртутнаго столба въ измѣрительной трубкѣ A производятся при одинаковомъ уровнѣ воды въ обоихъ колѣнахъ манометра, т. е. когда концы водяныхъ столбовъ находятся при нулевой чертѣ.

Описанный регуляторъ вполнѣ точенъ и совершенно не требуетъ термометрическихъ и барометрическихъ наблюденій, но для обращенія съ нимъ нужна извѣстная осторожность. Было бы весьма желательно, чтобы болѣе компактные регуляторы этого типа получили бы такое же примѣненіе въ гризуметріи, какое они имѣютъ въ нѣкоторыхъ другихъ приборахъ для точнаго газоваго анализа, напримѣръ, для объемнаго измѣренія углекислоты при изслѣдованіяхъ состава воздуха, при опредѣленіи углерода въ желѣзѣ и стали (Петерсонъ, Гемпель, Лунге).

Такимъ образомъ, увеличеніе температуры на 1° для газа, насыщеннаго водяными парами, должно быть уравновѣшено давленіемъ водяного столба высотою приблизительно въ 50 мм. Исходя изъ этихъ соображеній, Брокманъ нанесъ на стеклянной трубкѣ манометра вверхъ и внизъ отъ нулевой черты m_4 градусныя дѣленія, въ которыхъ 0,1° равняется 5 мм. (точнѣе—4,75 мм.) и снабдилъ указателемъ резервуаръ F для опредѣленія перемѣщеній послѣдняго.

При первомъ наблюденіи газоваго объема въ началѣ анализа регуляторъ сообщаютъ съ измѣрителемъ, ставятъ указатель манометра на 0 и осторожнымъ перемѣщеніемъ сосуда E, а также дѣйствіемъ зажимного винта q_2 приводятъ къ нулевой чертѣ воду въ стеклянной трубкѣ регулятора. Послѣ этого производятъ отчеты: 1) объема газа въ измѣрителѣ и 2) температуры ванны M. Во время слѣдующаго измѣренія объема указатель резервуара F каждый разъ передвигается отъ нулевой черты (m_4) вверхъ или внизъ на величину $\triangle t$, смотря по наблюдаемому повышенію или пониженію температуры среды, а надлежащимъ передвиженіемъ ртутнаго столба въ измѣрителѣ ставятъ на нуль уровень воды въ манометрѣ.

При такомъ простомъ устройствѣ всѣ температурныя приведенія дѣлаются очень быстро, безъ всякихъ расчетовъ и съ точностью, совершенно достаточной для техническихъ цѣлей.

Въ правильности дѣйствія регулятора, а также въ герметичности кранова и соединеній отдѣльныхъ частей гризуметра не трудно убѣдиться, произведя измѣренія объема одного и того количества газа при различныхъ температурахъ; при этомъ отчетъ въ измѣрительной трубкѣ долженъ сохранять одну и ту-же величину. Для большей отчетливости вода въ манометрѣ подкрашивается нѣсколькими каплями раствора индиго или какой-нибудь другой краски.

Фотографическій снимокъ съ гризуметра Кокильона-Шондорфа, съ упрощеннымъ регуляторомъ Брокмана, представленъ на фиг. 17 (табл. II). Приборъ этотъ примѣнялся въ химической лабораторіи Горнаго Института для изслѣдованія пробъ воздуха изъ копей Донецкаго бассейна [1]).

Въ такомъ видѣ онъ изготовляется мастерской Роб. Мюллера [2]) въ Эссенѣ и служитъ для ежедневной работы какъ въ Бохумской испытательной станціи, такъ и на многихъ каменноугольныхъ копяхъ Вестфаліи.

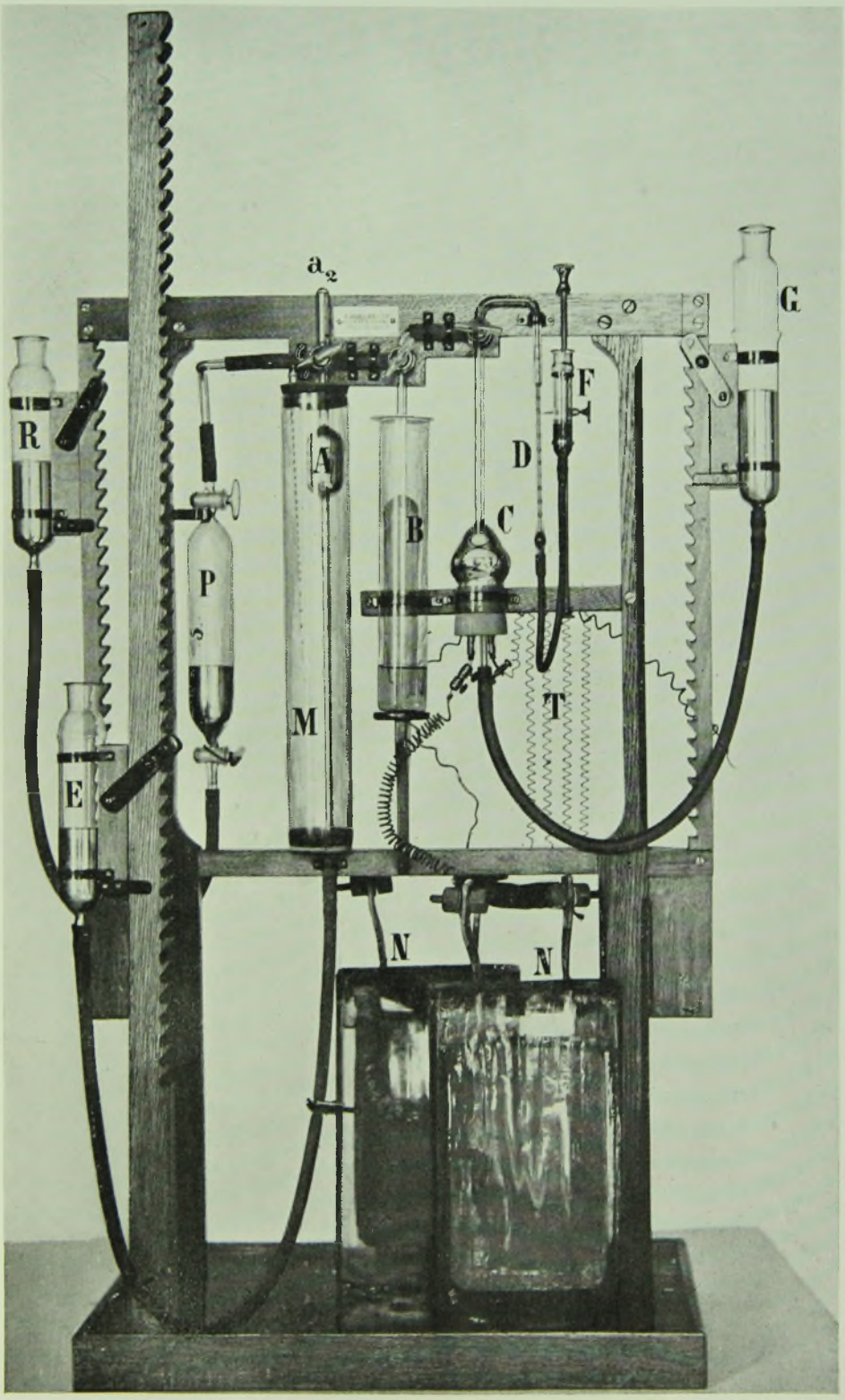
Для уменьшенія вертикальныхъ размѣровъ аппарата, верхняя часть измѣрительной трубки снабжена расширеніемъ, и дѣленія находятся только въ нижней, цилиндрической части. Изъ 500 дѣленій, составляющихъ емкость всей трубки, на цилиндрическую часть приходится 60 дѣленій, что позволяетъ измѣрять сокращенія объемовъ при изслѣдованіи смѣсей

[1]) См. Горный Журналъ, 1902 г., т. II, стр. 313; *N. Kozowsky*, Bulletin de la Société de l'Industrie minérale (3), t. *14*, 1900.

[2]) *Robert Müller*, Glasblaeserei, Essen a. d. Ruhr. Въ послѣднее время Р. Мюллеръ дѣлаетъ этотъ приборъ монтированнымъ на металлическомъ штативѣ, съ зубчатыми рейками для передвиженія ртутныхъ сосудовъ.

Гризуметръ Кокильона

(Бохумская Лабораторія).



Фиг. 17.

съ содержаніемъ до 4% метана. Этотъ предѣлъ совершенно достаточенъ для громаднаго большинства вентиляціонныхъ пробъ, съ которыми приходится встрѣчаться въ практикѣ. Но во всѣхъ случаяхъ, особенно при газахъ съ большимъ содержаніемъ метана, когда необходимо предварительное разведеніе изслѣдуемой смѣси воздухомъ, представляется гораздо болѣе удобнымъ имѣть измѣритель въ видѣ цилиндрической трубки, градуированной по всей длинѣ, начиная отъ верхней отмѣтки на капиллярѣ (см. фиг. 13).

Способъ работы съ аппаратомъ Кокильона-Шондорфа.

Для собиранія и сохраненія газовыхъ пробъ примѣняются стеклянныя трубки (*P*—фиг. 17, фиг. 18), емкостью въ 80 и болѣе куб. см., къ обоимъ концамъ которыхъ припаяны небольшіе капилляры (около 1 мм. внутренняго діаметра) съ хорошо прошлифованными стеклянными кранами. Эти трубки занумеровываются, наполняются водой и доставляются въ выработки, уложенными по нѣсколько штукъ въ особыхъ закрытыхъ ящикахъ. На мѣстѣ взятія пробы открывается сначала верхній, затѣмъ нижній кранъ; вода постепенно вытекаетъ и замѣщается испытуемымъ газомъ.

Фиг. 18.

Если желательно взять среднюю пробу всей воздушной струи, то при вытеканіи воды медленно и постепенно обводятъ трубкой по всему сѣченію струи, принимая во вниманіе по возможности большее количество точекъ послѣдней. Такой пріемъ настоятельно рекомендуется для такъ называемыхъ „воздушныхъ“ станцій, въ которыхъ производятся также анемометрическія и термометрическія измѣренія. Всякаго встряхиванія воды внутри трубки при взятіи пробы слѣдуетъ избѣгать для уменьшенія возможнаго поглощенія угольной кислоты при этой операціи.

Опытъ показалъ, что въ такихъ трубкахъ газовая смѣсь можетъ быть сохраняема въ теченіе многихъ мѣсяцевъ безъ всякихъ измѣненій, конечно, при условіи, если краны хорошо пришлифованы и смазаны. Для послѣдней цѣли лучше всего примѣнять тяжелые сорта минеральныхъ маслъ, особенно, какъ совѣтуетъ Шондорфъ, въ смѣси съ небольшимъ количествомъ свинцоваго мыла (свинцоваго пластыря).

При анализѣ предварительно наполняютъ всѣ части гризуметра соотвѣтствующими жидкостями до верхнихъ отмѣтокъ и устанавливаютъ на нуль воду въ манометрѣ *D*. Верхній конецъ стеклянной трубки *P*, содержащей газовую пробу, соединяется съ боковымъ капилляромъ измѣрителя, а на нижній конецъ той-же трубки надѣвается каучукъ отъ давящаго сосуда *K*, наполненнаго ртутью (фиг. 17).

Для полнаго удаленія воздуха изъ стеклянныхъ капилляровъ и кау-

чуковыхъ смычекъ, казалось бы болѣе цѣлесообразнымъ закрывать концы пробныхъ трубокъ не простыми, а Винклеровскими трехъ-ходовыми кранами [1]). Но манипулированіе съ послѣдними въ полуосвѣщенныхъ подземныхъ выработкахъ представляетъ большія затрудненія и можетъ дать поводъ къ серьезнымъ недоразумѣніямъ, почему обыкновенно предпочитаютъ пользоваться простыми кранами. При употребленіи послѣднихъ, воздухъ, заключенный въ нижнемъ капиллярѣ пробной трубки, смѣшивается съ испытуемымъ газомъ, но происходящая отъ этого ошибка не можетъ имѣть замѣтнаго вліянія на результатъ, вслѣдствіе ничтожной емкости капилляра, въ сравненіи съ общимъ объемомъ испытуемаго газа.

Воздухъ, находящійся въ пространствѣ между пробной и измѣрительной трубками, вытѣсняютъ наружу токомъ газа черезъ вертикальный отростокъ a_2 (фиг. 17). Затѣмъ поворачиваютъ кранъ и, понижая постепенно сосудъ E, наполняютъ измѣрительную трубку газомъ. При этомъ слѣдуетъ избѣгать значительной разницы между давленіями газа внутри трубки и внѣшней атмосферы; въ противномъ случаѣ, при послѣдующемъ сообщеніи съ водянымъ манометромъ, произойдетъ или втягиваніе воды въ приборъ, или выходъ газа наружу.

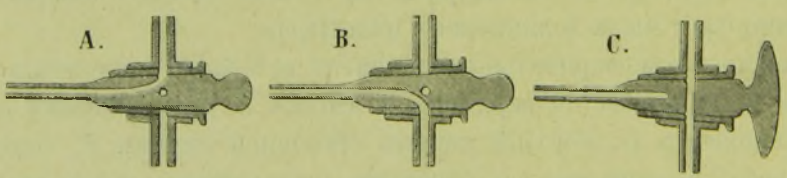
Весь анализъ распадается на четыре операціи: 1) измѣреніе объема взятаго газа, 2) поглощеніе и измѣреніе углекислоты, 3) сожиганіе метана и измѣреніе объемнаго сокращенія и 4) поглощеніе и измѣреніе углекислоты, образовавшейся при горѣніи метана.

1) Измѣреніе объема. Кранамъ h_1, h_2 и h_3 (см. фиг. 13) даютъ поворотъ для соединенія измѣрительной трубки съ манометромъ и осторожнымъ перемѣщеніемъ давящаго ртутнаго сосуда E_1 устанавливаютъ водяной столбъ манометра на нулевой чертѣ. Окончательная установка производится весьма удобно, ввинчивая или вывинчивая зажимъ q_2, при закрытомъ зажимѣ q_1. Послѣ этого отсчитываютъ объемъ газа (V_1) и его температуру посредствомъ термометра, помѣщеннаго въ стеклянной оболочкѣ измѣрительной трубки.

2) Опредѣленіе углекислоты. Газовая смѣсь переводится два или три раза въ колоколъ и оставляется тамъ каждый разъ около 1—2 минутъ.

---

[1]) Различныя положенія ходовъ въ Винклеровскомъ кранѣ представлены на фиг. 19. Повороты *A* и *B* позволяютъ вытѣснить воздухъ изъ верхняго и нижняго капилляровъ



Фиг. 19.

пробной трубки при соотвѣтственномъ соединеніи ходовъ съ каучуковой трубкой давящаго сосуда, наполняемаго ртутью или водой. Поворачиваніемъ крана въ положеніе *C* изслѣдуемый газъ переводится въ измѣритель.

Поглощеніе считается окончившимся, когда повторное измѣреніе даетъ одну и ту же величину для измѣненія объема газовой смѣси.

Послѣ поглощенія газъ переводятъ въ измѣритель и дѣлаютъ отчетъ объема (V_2), при чемъ указатель манометра получаетъ перемѣщеніе, которое соотвѣтствуетъ происшедшему измѣненію температуры. Разность объемовъ $V_1 - V_2$ опредѣляетъ количество углекислоты во взятомъ объемѣ газа V_1.

3) Сожиганіе метана и измѣреніе объемнаго сокращенія. Газовая смѣсь послѣ предыдущаго опредѣленія переводится въ горѣлку и накаливается токомъ отъ аккумуляторовъ (фиг. 17 — N, N) или отъ другого источника электрической энергіи (динамомашины, батареи). Чтобы не разогрѣвать чрезмѣрно верхней части горѣлки, операцію накаливанія производятъ въ 2 или 3 пріема, съ промежутками для охлажденія. При разогрѣтой добѣла платиновой спирали процессъ горѣнія можетъ быть законченъ въ нѣсколько секундъ, но при болѣе низкой температурѣ горѣніе необходимо продолжать значительно больше (до 5 минутъ). Степень накаливанія можно до извѣстной степени регулировать при помощи небольшого проволочнаго реостатата T (изъ нейзильбера), помѣщеннаго на самомъ штативѣ гризуметра.

Обыкновенно принимается, что смѣсь метана съ воздухомъ становится взрывчатой при 6% CH_4; но при сожиганіи въ горѣлкѣ гризуметра взрывчатыя свойства могутъ проявиться и въ болѣе бѣдныхъ метаномъ смѣсяхъ. Это обстоятельство зависитъ, по всей вѣроятности, отъ общаго повышенія температуры газовой массы въ замкнутомъ пространствѣ горѣлки. Поэтому, уже при содержаніи метана въ 3—4%, нужно быть очень осторожнымъ при накаливаніи проволоки: если эта операція совершается очень энергично и быстро, то процессъ горѣнія нерѣдко сопровождается взрывомъ, который можетъ разбить горѣлку и поранить наблюдателя. Въ видахъ предосторожности, особенно при газахъ неизвѣстнаго состава, передъ замыканіемъ тока слѣдуетъ защитить лицо проволочной сѣткой.

Во всякомъ случаѣ, значительныя содержанія метана (около 3—4% и выше) должны быть отмѣчены уже на этикетахъ самихъ пробныхъ трубокъ. Какъ извѣстно, такія количества легко открываются на мѣстѣ взятія пробы по наблюденію надъ ореоломъ и длиной пламени предохранительныхъ лампъ.

При анализѣ подобныхъ смѣсей, а также выдѣленій гремучаго газа изъ трещинъ, фонтановъ (Soufflard) буровыхъ, скважинъ и т. п., необходимо предварительное разведеніе испытуемаго газа воздухомъ, лишеннымъ углекислоты, до содержанія метана менѣе 3—4%.

По окончаніи сожиганія въ горѣлкѣ прибору даютъ охладиться въ теченіе нѣкотораго времени (до 10—15 минутъ) и измѣряютъ объемъ (V_3) газа, при надлежащемъ положеніи водяного регулятора. Половина сокращенія объема при горѣніи равняется объему метана, заключающагося въ взятомъ для анализа количествѣ газа (V_1 об.).

$$^1/_2 (V_2 - V_3).$$

Этимъ измѣреніемъ анализъ можетъ быть законченъ, но если желаютъ убѣдиться въ правильности дѣйствія аппарата и провѣрить точность полученнаго результата, то представляется необходимымъ сдѣлать слѣдующее послѣднее измѣреніе.

4) Поглощеніе углекислоты, образовавшейся при сожиганіи метана. Газовый остатокъ послѣ 3-й операціи переводится въ колоколъ съ ѣдкимъ кали и измѣряется получаемый послѣ поглощенія газовый объемъ V_4. Разность $V_3 - V_4$ = объему углекислоты при сожиганіи. Если послѣдній процессъ выполненъ надлежащимъ образомъ, то мы должны имѣть:

$$^1/_2 (V_2 - V_3) = V_3 - V_4.$$

Это выраженіе подтверждается многочисленными точными анализами гремучаго газа каменноугольныхъ копей какъ Западной Европы, такъ и Донецкаго бассейна. Въ видѣ примѣра могутъ служить приведенные въ II главѣ результаты изслѣдованія гремучаго газа Макѣевскихъ копей Русско-Донского Общества. Наблюдаемыя иногда на практикѣ уклоненія зависятъ, какъ это показываетъ ближайшее изслѣдованіе, или отъ недостаточной продолжительности сожиганія и поглощенія, или отъ неправильности дѣйствія самого аппарата.

Для примѣра на таб. VI приведены результаты опыта, сдѣланнаго докторомъ Брокманомъ при моемъ посѣщеніи Бохумской лабораторіи (23 іюля

Таблица VI.

	Наблюден. объемы.	Сокращеніе при сожиганіи ($V_2 - V_3$).	Количество углекислоты ($V_3 - V_4$).	Изслѣдованная проба газа содержитъ.
1-е сожиганіе.				
Послѣ сожиганія . . .	473,5	16,6 об.	—	CO_2—0,18%.
„ поглощенія CO_2 .	466,3	—	7,2 об.	CH_4—1,91%,
2-е сожиганіе.				
Послѣ сожиганія . . .	464,1	2,2	—	
„ поглощенія CO_2 .	462,3	—	1,8	
3-е сожиганіе.				
Послѣ сожиганія . . .	462,2	0,1	—	
„ поглощенія CO_2 .	461,8	—	7,4	
Сумма . .		18,9 об.	9,4 об.	

1898 г.) надъ газомъ вестфальской копи „Preussen“. Сожиганіе было нарочно совершено въ три пріема, при чемъ каждый разъ проволока накаливалась въ теченіе очень короткаго промежутка времени (нѣсколько секундъ). Взято газа — 491,0 об. (V_1); послѣ поглощенія углекислоты — 490,1 (V_2), разность = = 0,9 об. CO_2.

Изъ чиселъ табл. VI видно, что при первомъ сожиганіи горѣніе было неполное и $V_2 - V_3 = 16{,}6$ об. значительно больше удвоенной величины для $V_3 - V_4$ ($7{,}2 \times 2 = 14{,}4$). Только послѣ двухъ послѣдующихъ сожиганій наблюдаемое сокращеніе совпадаетъ съ требуемымъ теоріей.

Вторая причина, вліяющая очень сильно на уменьшеніе относительнаго количества углекислоты,—это присутствіе раствора ѣдкаго кали въ горизонтальномъ капиллярѣ, соединяющемъ отдѣльныя части гризуметра. Частицы названнаго раствора могутъ попасть въ капилляръ, увлекаемыя слишкомъ сильнымъ токомъ газа, когда послѣдній переводится изъ колокола B (фиг. 17) въ измѣрительную трубку. При этихъ условіяхъ слѣдуетъ опредѣлить общее сокращеніе $V_2 - V_4$, т. е. сумму сокращеній объемовъ при горѣніи и послѣ поглощенія углекислоты. Величина $\frac{V_2 - V_4}{3}$ равняется объему метана въ испытуемой смѣси.

Для послѣдующихъ же опредѣленій капилляръ долженъ быть тщательно промытъ водою. Если сожиганіе полное и аппаратъ функціонируетъ правильно, то четвертая операція — поглощеніе углекислоты послѣ горѣнія — можетъ быть совершенно выпущена въ общемъ ходѣ анализа.

Для производства анализа достаточно около получаса времени, но вслѣдствіе утомительности и однообразія газометрическихъ изслѣдованій въ Бохумской лабораторіи на одного работающаго не полагается болѣе 10—12 пробъ въ день.

Степень точности опредѣленій метана въ описанномъ упрощенномъ гризуметрѣ Кокильона - Шондорфа для обыкновенныхъ вентиляціонныхъ пробъ воздуха можно принять около 0,03%. При анализахъ смѣсей съ большимъ содержаніемъ CH_4, напримѣръ, газовъ изъ трещинъ (Soufflard, Blaser), степень точности уменьшается (до 0,1% и болѣе), потому что въ этихъ случаяхъ приходится разбавлять небольшія количества изслѣдуемаго газа значительными объемами воздуха; подобная операція, очевидно, сильно вліяетъ на процентную величину возможной ошибки. Значительная быстрота и точность работы, въ связи съ небольшими размѣрами потребныхъ для испытанія пробъ (30 — 80 куб. см. газа), дѣлаютъ приборъ Кокильона-Шондорфа особенно полезнымъ для тѣхъ лабораторій, которымъ приходится анализировать большое количество газовыхъ пробъ, особенно если послѣднія должны присылаться съ отдаленныхъ разстояній.

ГЛАВА V.

Опредѣленіе метана титрованіемъ.

(Методъ Кл. Винклера).

Этотъ способъ опредѣленія метана нужно считать наиболѣе точнымъ и въ то же время наиболѣе сложнымъ, по сравненію съ тѣми пріемами, которые описаны въ предыдущихъ главахъ. Онъ основанъ на принципѣ органическаго анализа и заключается въ томъ, что опредѣленный (до $2^1/_2$ и болѣе литровъ) объемъ испытуемой воздушной пробы пропускается сначала черезъ растворъ ѣдкаго кали или другого реагента для удаленія углекислоты, затѣмъ черезъ стеклянную трубку, наполненную окисью мѣди и нагрѣваемую въ небольшой печи нѣсколькими газовыми горѣлками. Здѣсь происходитъ сожиганіе метана, послѣ чего газы проходятъ черезъ пріемникъ съ отмѣреннымъ объемомъ титрованной баритовой воды, которая поглощаетъ углекислоту, образовавшуюся при горѣніи. Опредѣляя титрованіемъ посредствомъ щавелевой кислоты количество барита, не вошедшаго въ реакцію, находятъ по разности объемъ поглощенной углекислоты. Какъ извѣстно, каждый объемъ послѣдней отвѣчаетъ такому-же объему метана въ изслѣдуемой пробѣ.

Описанный пріемъ былъ примѣненъ проф. Клеменсомъ Винклеромъ [1]) при изслѣдованіяхъ вентиляціи въ саксонскихъ каменноугольныхъ копяхъ, а также при работахъ австрійской комиссіи гремучаго газа [2]) и Кёлера въ Карвинѣ [3]). Въ настоящее время методомъ Винклера пользуются въ лабораторіяхъ, устроенныхъ на копяхъ Брюкенбергскаго каменноугольнаго общества въ Цвикау и при испытательной станціи въ Моравскомъ Острау (Mährisch Ostrau).

Въ послѣднее время, вмѣсто сожиганія съ окисью мѣди, Кл. Винклеръ предложилъ производить эту операцію насчетъ кислорода воздуха, при помощи платиновой проволоки, накаливаемой электрическимъ токомъ, т. е. по методу Кокильона.

Пріемъ, выработанный проф. К. Винклеромъ, дозволяетъ производить очень точныя опредѣленія. Благодаря большимъ объемамъ газа, примѣ-

---

[1]) *Cl. Winkler*, Jahrbuch für das Berg-und Hütten-wesen im Konigreich Sachsen für das Jahr 1882.

Опредѣленіе угольной кислоты въ газовыхъ смѣсяхъ посредствомъ титрованія было разработано *Гессе* (*Hesse*).

[2]) *Jeller*: Verhandlungen des Centralcomités der oesterreichischen Commission zur Ermittellung der zweckmaessigten Massregeln gegen die Explosion Schlagender—Wetter in Bergwerken. 2 Heft, 94 (1889).

[3]) *Köhler*, Bulletin de la Société de l'Industrie minérale (3) t. I, 637 (1887).

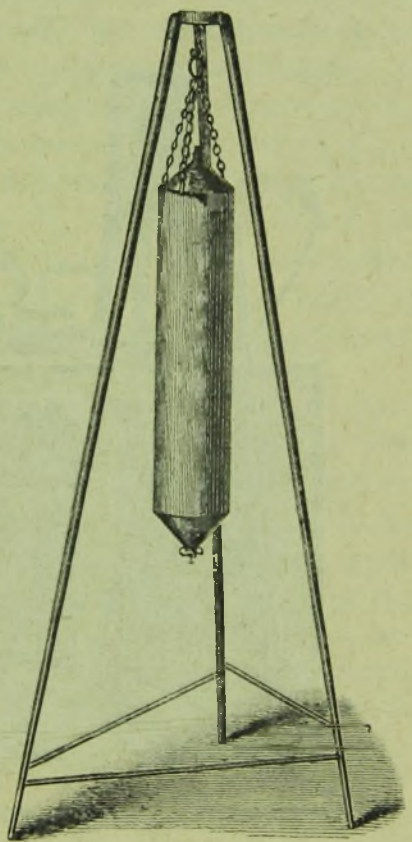
няемымъ для анализа, количества получаемой углекислоты легко доступны измѣренію, даже при небольшихъ содержаніяхъ метана. Такъ, напримѣръ, при 0,1% CH_4 изъ двухъ литровъ сожигаемой пробы образуется 2 куб. см. углекислаго газа. Если 1 куб. см. баритовой воды отвѣчаетъ 1 куб. см. CO_2, то дѣлая ошибку при титрованіи = 0,1—0,2 куб. см., мы получаемъ неточность въ опредѣленіи метана = 0,005%—0,001%. Употребляя въ работу значительные объемы испытуемой смѣси, можно опредѣлять присутствіе самыхъ небольшихъ количествъ горючаго газа. При этомъ предполагается уже само собой, что послѣдній состоитъ изъ чистаго метана.

По указаннымъ причинамъ методъ Кл. Винклера можетъ служить для контроля результатовъ опредѣленій по другимъ способамъ, но за то онъ требуетъ для надлежащаго выполненія сложныхъ приборовъ и обстановки правильно устроенной газоаналитической лаборатоpіи.

Далѣе я опишу оба видоизмѣненія названнаго метода, а именно: 1) сожиганіе съ окисью мѣди и 2) сожиганіе посредствомъ платиновой проволоки, накаливаемой токомъ.

1. Сожиганіе съ окисью мѣди [1]).

Необходимые для анализа значительные объемы газовой пробы собираются въ цинковомъ сосудѣ, представленномъ на фиг. 20. Длина цилиндрической части = 50 см.; общая длина, вмѣстѣ съ коническими суженіями, = 60 см. При діаметрѣ въ 10 см. емкость сосуда равняется, примѣрно, 10 литрамъ. Оба конца снабжены тубусами въ 1,5 см. діаметромъ, закрывающимися или мягкими резиновыми пробками, или же рычажными фарфоровыми запорами съ резиновой обкладкой, въ родѣ тѣхъ, которыми пользуются для закрыванія бутылокъ съ газированными водами. При помощи трехъ латунныхъ цѣпочекъ, соединенныхъ съ кольцомъ, сосудъ можетъ переноситься и подвѣшиваться къ треногѣ.



Фиг. 20.

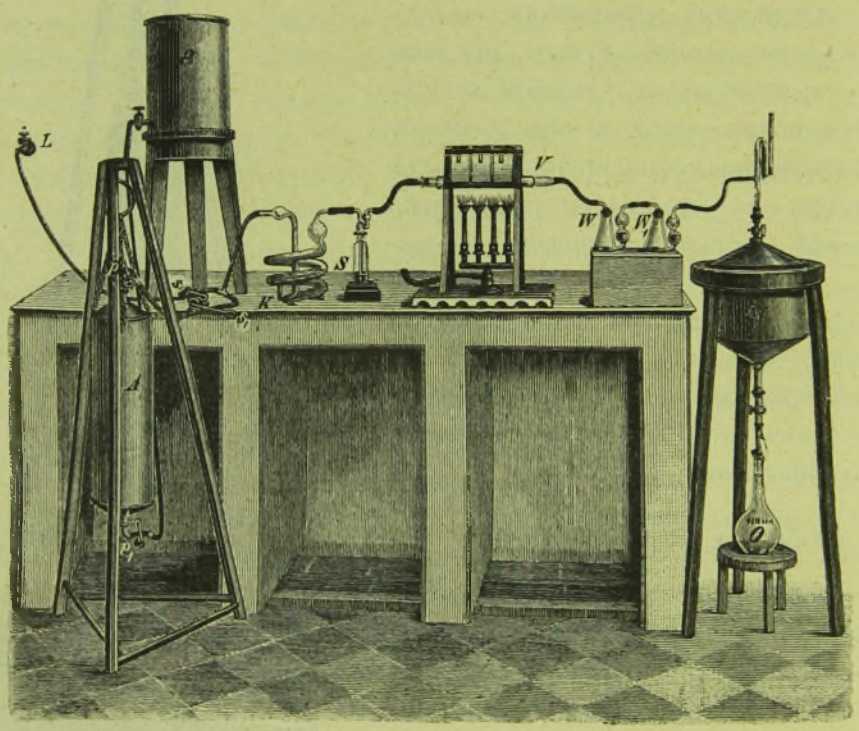
Передъ взятіемъ пробы его наполняютъ водой, которая затѣмъ вы-

---

[1]) *Cl. Winkler*: Lehrbuch der technischen Gasanalyse, 3 Auflage, S. 191.

Р. Ф. Зиверть. Отчетъ совѣту съѣзда горнопромышленниковъ юга Россіи, стр. 30 (приложеніе къ „Горнозаводскому Листку" за 1900 г.).

ливается въ желаемомъ мѣстѣ подземныхъ выработокъ. Если имѣютъ въ виду взять среднюю пробу, соотвѣтствующую болѣе значительному промежутку времени, то въ тубусы вставляются пробки съ стеклянными трубками и винтовыми зажимами; при помощи послѣднихъ можно регулировать по желанію время истеченія воды. Послѣ взятія пробы оба отверстія тщательно закрываются пробками, которыя скрѣпляютъ для вѣрности нитками или проволокой съ тубусами, для чего къ послѣднимъ припаиваются особые ушки.



Фиг. 21.

Общее расположеніе частей прибора для опредѣленія метана изображено на фиг. 21.

Изслѣдуемая проба находится въ переносномъ цинковомъ цилиндрѣ A и давленіемъ воды изъ резервуара B можетъ быть переведена въ сожигательный аппаратъ. Газъ поступаетъ сначала въ поглотительный змѣевикъ K, который при посредствѣ $\perp$-образной трубки и зажима s соединяется также съ воздухопроводомъ или краномъ L воздушнаго газометра. Змѣевикъ K наполняется растворомъ ѣдкаго кали въ 30° B. и предназначается для полнаго удаленія угольной кислоты. Отсюда газъ проводится черезъ склянку S съ крѣпкой сѣрной кислотой для высушиванія и за-

тѣмъ проходитъ надъ слоемъ зерненой окиси мѣди (около 25 см. длины) въ сожигательной трубкѣ *V*, которая нагрѣвается до краснаго каленія четырьмя газовыми горѣлками въ небольшой печи. Чтобы увеличить срокъ службы сожигательныхъ трубокъ, послѣднія покрываются слоемъ, состоящимъ изъ смѣси 3 частей тонкаго шамотнаго порошка и 1 части сырой необожженной глины съ продажнымъ растворомъ фуксова стекла, разведеннымъ предварительно 4 объемами воды. Полученное такимъ образомъ тѣсто наносится кистью на нижнюю часть стеклянной трубки, подвергаемую наиболѣе сильному дѣйствію жара. Послѣ высушиванія при невысокой температурѣ наводятъ второй и затѣмъ третій слой, при чемъ обмазка достигаетъ желаемой толщины и представляетъ прекрасную предохранительную оболочку для сожигательныхъ трубокъ подобнаго рода. Примѣняя осторожное нагрѣваніе и охлажденіе, можно произвести до двадцати и болѣе сожиганій съ одной трубкой. По выходѣ изъ сожигательнаго прибора газъ поступаетъ въ поглотительныя колбы *W* и W_1 съ баритовой водой, гдѣ удерживается образовавшаяся при горѣніи углекислота и подъ конецъ онъ направляется въ аспираторъ *M*, снабженный ртутнымъ манометромъ. Подъ нижній кранъ аспиратора подставляется литровая колба *O*, служащая для измѣренія объема вытекшей воды.

Растворы щавелевой кислоты и барита для титрованія. Для облегченія вычисленій при титрованіи примѣняютъ обыкновенно такой растворъ щавелевой кислоты, чтобы одинъ кубическій сантиметръ его отвѣчалъ одному кубическому сантиметру углекислоты. Этотъ растворъ носитъ названіе *газонормальнаго*. По отношенію къ бариту частица гидрата щавелевой кислоты $C_2H_2O_4 . 2H_2O$ (126 гр.) эквивалентна частицѣ CO_2 (44 гр.). Такъ какъ вѣсъ литра углекислаго газа при нормальныхъ условіяхъ равняется 1,965 гр., то количество граммовъ *K* гидрата щавелевой кислоты, необходимое для приготовленія 1000 куб. см. газонормальнаго раствора, можетъ быть вычислено изъ пропорціи:

$$K : 1{,}965 = 126 : 44,$$

откуда

$$K = 5{,}628 \text{ гр. } C_2H_2O_4 . 2H_2O.$$

Щавелевая кислота имѣется въ продажѣ въ химически чистомъ состояніи и приготовленіе ея газонормальнаго раствора не представляетъ затрудненій. При стояніи, особенно на свѣту, растворы этого вещества нѣсколько измѣняются; поэтому слѣдуетъ сохранять ихъ въ темнотѣ и не приготовлять въ количествахъ болѣе одного литра.

Баритовый растворъ получается, исходя изъ водной окиси барія, составъ которой выражается формулой $Ba(OH)_2.8H_2O$ (частичный вѣсъ 315,4 гр.). На основаніи пропорціи

$$X : 1{,}965 = 315{,}4 : 44$$

названнаго вещества слѣдуетъ взять по теоріи 14,059 граммовъ на литръ для образованія газонормальнаго раствора. Но продажный препаратъ, вслѣдствіе содержанія углебаріевой соли, лишь приблизительно отвѣчаетъ указанной формулѣ; поэтому обыкновенно ограничиваются приготовленіемъ раствора только приблизительно газонормальной концентраціи. Съ этой цѣлью въ склянку съ притертой пробкой помѣщаютъ 15 гр. кристаллической водной окиси барія, наливаютъ 1000 куб. см. дистиллированной воды и растворяютъ при частомъ встряхиваніи. Когда кристаллы исчезли, жидкости даютъ отстояться; затѣмъ прозрачный растворъ осторожно сливается съ осадка углебаріевой соли въ сосудъ, въ которомъ сохраняется титрованный растворъ барита. Отмѣриваніе опредѣленныхъ объемовъ послѣдняго реагента совершается при помощи бюретки, устроенной какъ обыкновенно принято при алкалиметрическихъ изслѣдованіяхъ. Баритовый растворъ притекаетъ посредствомъ сифона съ зажимомъ въ нижнюю часть бюретки, верхняя часть которой закрыта пробкой съ трубкой, наполненной натристою известью для устраненія поглощенія углекислоты изъ воздуха. Такая же трубка съ натристою известью вставляется въ горло сосуда съ баритовымъ растворомъ.

Для опредѣленія титра, 10 куб. сант. баритовой воды спускается въ коническую колбочку, подкрашивается нѣсколькими каплями спиртового раствора фенолъ-фталеина и титруется газонормальнымъ растворомъ щавелевой кислоты до исчезновенія окрашиванія. Титрованный растворъ прибавляется медленно, по каплямъ; въ противномъ случаѣ щавелевая кислота можетъ вступить въ реакцію также съ углебаріевою солью и дать неточный результатъ. Число израсходованныхъ куб. см. щавелевой кислоты, раздѣленное на 10, даетъ величину для искомаго титра баритовой воды, т. е. количество куб. сантиметровъ раствора щавелевой кислоты или углекислаго газа, отвѣчающихъ одному куб. сантиметру баритовой воды.

Съ теченіемъ времени баритовый растворъ постепенно поглощаетъ угольную кислоту и уменьшаетъ свою концентрацію. По этой причинѣ передъ началомъ отдѣльнаго ряда опытовъ необходимо каждый разъ произвести провѣрку титра.

Ходъ анализа. Приступая къ опредѣленію метана, слѣдуетъ смѣнить сплошныя каучуковыя трубки, закрывающія оба тубуса цинковаго сосуда, содержащаго испытуемую пробу, на пробки съ вставленными въ нихъ стеклянными трубками, изогнутыми подъ прямымъ угломъ и закрытыми съ наружнаго конца каучуковыми трубками съ металлическими зажимами. Эта операція производится обыкновенно такимъ образомъ, что оба конца сосуда послѣдовательно погружаютъ въ воду и подъ ея поверхностью замѣняютъ обыкновенную пробку пробкой съ стеклянной трубкой. Такъ какъ взятіе газовой пробы происходитъ большею частью на нѣкоторой глубинѣ подъ поверхностью земли, т. е. при повышенномъ атмосферномъ давленіи, то при вскрытіи цинковаго сосуда часть заключеннаго въ немъ газа под-

нимается вверхъ въ видѣ пузырей. Подобное явленіе можетъ служить доказательствомъ того, что запоры держали плотно.

Подготовленный такимъ образомъ цинковый цилиндръ подвѣшивается къ треногѣ. Къ верхнему зажиму p (фиг. 21) присоединяется каучуковая трубка съ винтовымъ зажимомъ s_1, а на зажимъ p_1 надѣвается отводная трубка резервуара B, предварительно наполненная водой. Послѣ этого зажимы p и p_1 могутъ быть открыты совершенно и передвинуты на соотвѣтствующія стеклянныя трубки; дальнѣйшее передвиженіе газа и регулированіе его струи совершается исключительно посредствомъ винтового зажима s_1.

Прежде, чѣмъ приступить къ сожиганію, слѣдуетъ нагрѣть печь до каленія и пропустить черезъ аппаратъ токъ чистаго, лишеннаго угольной кислоты воздуха; послѣ этого въ пріемники W и W_1 наливаютъ по 25 куб. см. баритовой воды съ нѣсколькими каплями фенолнафталиннаго раствора.

Воздухъ, необходимый для промыванія аппарата, лучше брать извнѣ, потому что лабораторная атмосфера часто содержитъ примѣсь свѣтильнаго газа, присутствіе котораго узнается тотчасъ же по помутнѣнію баритоваго раствора и можетъ повліять въ значительной степени на точность опредѣленій. Воздухъ берется изъ газометра (не показаннаго на чертежѣ) при посредствѣ крана L.

Послѣ окончанія „промыванія“ запираютъ кранъ L и приступаютъ къ сожиганію. Сначала открывается осторожно винтовой зажимъ s_1 настолько, чтобы баритовый растворъ немного поднялся въ шарахъ пріемниковъ W и W_1 и черезъ жидкость прошло нѣсколько пузырьковъ газа. Затѣмъ пускаютъ въ ходъ аспираторъ и отпираютъ его нижній кранъ до тѣхъ поръ, пока получатъ въ манометрѣ небольшое отрицательное давленіе. Величину послѣдняго сохраняютъ постоянной во все время опыта, одновременно регулируя посредствомъ зажима s_1 притокъ изслѣдуемаго газа такъ, чтобы въ промывной склянкѣ S проходило около 200 пузырьковъ въ минуту, и литровая колба O наполнялась въ теченіе получаса.

Приведенный въ дѣйствіе аппаратъ требуетъ лишь незначительнаго надзора; лишь изрѣдка приходится встряхивать содержимое абсорбціонныхъ сосудовъ W и W_1. Въ это время отчитываютъ показанія термометра и барометра и опредѣляютъ титръ баритовой воды по отношенію къ нормальной щавелевой кислотѣ. Черезъ нѣкоторое время послѣ начала сожиганія баритовая вода въ первомъ поглотителѣ W начинаетъ мутиться и на днѣ сосуда постепенно собирается осадокъ, между тѣмъ какъ жидкость въ пріемникѣ W_1 должна оставаться прозрачной или обнаруживать лишь слабое помутнѣніе. По количеству осадка углебаріевой соли въ склянкѣ W опредѣляется потребный для сожиганія объемъ газовой пробы; изъ 10 литровъ, содержащихся въ цинковомъ цилиндрѣ, обыкновенно бываетъ достаточно 2—4 литровъ, и въ очень рѣдкихъ случаяхъ приходится расходовать болѣе 6

литровъ газа. Въ концѣ опыта даютъ послѣдній разъ стечь водѣ въ колбу O до черты, запираютъ нижній кранъ аспиратора и продолжаютъ пропускать газъ еще нѣкоторое время, до тѣхъ поръ, пока ртуть въ обоихъ колѣнахъ манометра не станетъ на одинаковой высотѣ. Тогда сейчасъ же запираютъ зажимъ s_1; при такихъ условіяхъ объемъ газа, прошедшаго черезъ приборъ, будетъ отвѣчать объему воды, вытекшей изъ аспиратора. Остается еще произвести послѣднюю операцію промыванія и дожечь то количество газа, которое заключается въ сосудахъ K и S и газопроводахъ передъ трубкой V. Съ этой цѣлью открываютъ снова кранъ аспиратора и при посредствѣ зажима s пропускаютъ черезъ аппаратъ нѣкоторый объемъ воздуха. Обыкновенно бываетъ достаточно 2-хъ литровъ, послѣ чего опытъ можно считать законченнымъ и приборъ готовъ для слѣдующаго сожиганія.

Жидкость въ пріемникахъ W и W_1 титруется растворомъ нормальной щавелевой кислоты; разность въ количествѣ кубическихъ сантиметровъ этого вещества, израсходованнаго для нейтрализаціи 50 куб. см. баритовой воды до и послѣ сожиганія, даетъ непосредственно число куб. сантиметровъ углекислоты, полученной при горѣніи, или число куб. сантиметровъ n метана, содержащагося во взятомъ объемѣ испытуемаго газа. Называя послѣдній объемъ черезъ N (послѣ приведенія его къ 0^0 С. и 760 мм. давленія) [1]), вычисляемъ $^0/_0$ содержаніе x метана изъ выраженія:

$$x = \frac{100n}{N+3n} \text{ об. проц. } CH_4.$$

Свѣтильный газъ, необходимый для нагрѣванія трубки съ окисью мѣди, является сравнительно рѣдко доступнымъ для небольшихъ лабораторій при копяхъ, а это обстоятельство въ значительной степени ограничиваетъ примѣненіе описаннаго метода.

Чтобы устранить названный недостатокъ, проф. Винклеръ предложилъ производить сожиганіе, пользуясь пріемомъ Кокильона, т. е. посредствомъ платиновой проволоки, накаливаемой электрическимъ токомъ.

2. Сожиганіе при посредствѣ накаленной платиновой проволоки.

По сравненію съ предыдущимъ, это видоизмѣненіе способа Кл. Винклера [2]) представляетъ значительныя упрощенія въ конструкціи аппарата. Всѣ операціи — измѣреніе газоваго объема, сожиганіе метана, поглощеніе

[1]) Для приведенія газоваго объема V, измѣреннаго при t^0 и внѣшнемъ давленіи H къ 0^0 С. и 760 мм., служитъ формула:

$$V = \frac{273\,V(B-f)}{(273+t)\,760},$$

гдѣ f — упругость водяного пара при t^0. Для облегченія вычисленія можно пользоваться таблицами Л. Либермана (см. приложеніе).

[2]) *Cl. Winkler*: Lehrbuch der technischen Gasanalyse. 3 Auflage S. 179.

Prof. Dr. O. Brunck: Die chemische Untersuchung der Grubenwetter. Freiberg. 1900. S. 70.

образовавшейся углекислоты и титрованіе щавелевой кислотой — производятся здѣсь въ одной и той-же толстостѣнной конической колбѣ (фиг. 22). Размѣры ея зависятъ отъ содержанія метана въ пробѣ. Для опредѣленія незначительныхъ количествъ этого газа въ исходящей воздушной струѣ необходимо примѣнять сосуды емкостью въ 2 литра;, при одномъ и болѣе проц. метана достаточно $^1/_2$ — 1 литра.

Фиг. 22.

На горлѣ колбы нанесена круговая черта, до которой слѣдуетъ каждый разъ вдвигать резиновую пробку, запирающую газъ; вмѣстимость до этой черты точно вывѣряется посредствомъ взвѣшиванія съ водой, и соотвѣтствующее число куб. см. вытравляется на стѣнкѣ сосуда. Послѣдній можетъ служить также и для взянія газовой пробы. Съ этою цѣлью колба наполняется на поверхности водой, лучше всего дистиллированной или же конденсаціонной изъ холодильника паровой машины. Въ послѣднемъ случаѣ, вода должна быть свободна отъ примѣси смазочнаго масла. Послѣ наполненія, горло колбы запирается резиновою пробкою съ двумя каналами, которые закрыты затычками изъ стеклянныхъ палочекъ.

Подготовленный такимъ образомъ сосудъ переносятъ въ выработку на мѣсто взятія пробы; выливъ тамъ воду, колбу затыкаютъ пробкой, вдвигая ее до черты. Само собою разумѣется, что пробка должна держаться возможно крѣпко. Лучше всего, если собранный газъ тотчасъ же, безъ промедленія, подвергается химическому изслѣдованію. Когда же этого сдѣлать нельзя, то для предотвращенія диффузіи газовъ черезъ резиновый запоръ, колба погружается горломъ внизъ въ сосудъ съ водой.

Для превращенія описанной колбы въ аппаратъ для сжиганія (фиг. 23), пробка съ стеклянными затычками смѣняется на другую (*k*), снабженную тремя каналами. Черезъ два изъ нихъ проходятъ электроды изъ латунныхъ палочекъ *e* и e_1 въ 5 мм. діаметромъ. При вставленіи пробки въ горло, концы этихъ электродовъ должны доходить, примѣрно, до середины высоты сосуда.

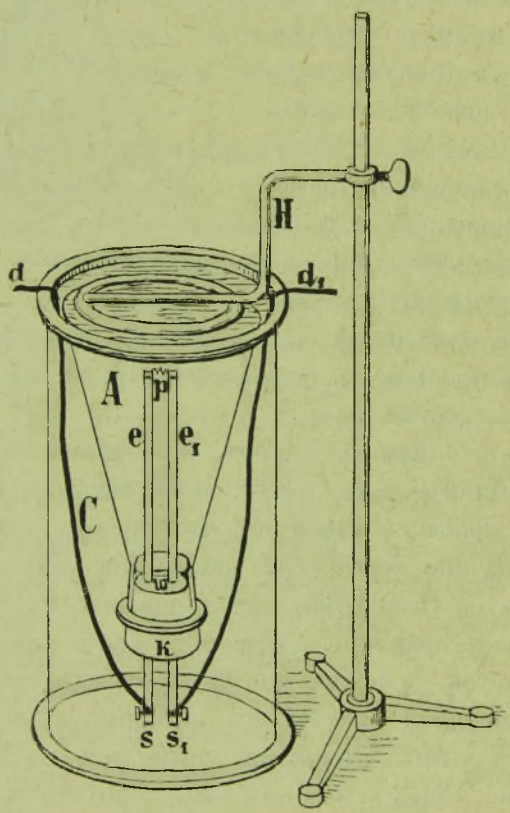
На концахъ стержней *e* и e_1 находятся небольшія отверстія съ винтиками, которыя служатъ для прикрѣпленія платиновой проволоки, свернутой въ спираль *p*.

Два другихъ конца имѣютъ винты *s* и s_1 для зажиманія изолированныхъ гуттаперчей мѣдныхъ проводовъ *d* и d_1 въ 1 мм. діаметромъ.

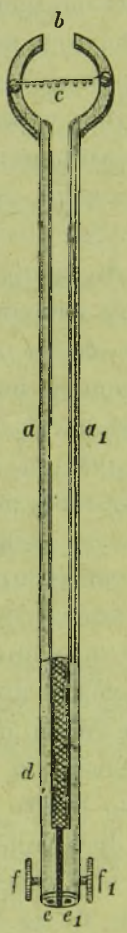
Третій каналъ въ резиновой пробкѣ *k*, затыкаемый обыкновенно стеклянной палочкой (не виденъ на рисункѣ), служитъ для введенія внутрь сосуда воды и титрованныхъ растворовъ.

Весьма практичной является форма электродовъ, конструированныхъ

О. Брункомъ (фиг. 24). Латунные стержни a и a_1 образуютъ на верхнемъ концѣ разомкнутый кругъ b, который предохраняетъ прикрѣпленную къ нему платиновую спираль c (изъ проволоки въ 0,35 мм. діаметромъ и 7 см. длины) отъ поврежденій при нечаянныхъ толчкахъ, ударахъ и т. п. Въ нижней части d оба электрода уединены другъ отъ друга слоемъ эбонита и обточены по формѣ цилиндра, плотно вхо-



Фиг. 23.



Фиг. 24.

дящаго въ отверстіе пробки, которая закрываетъ горло сожигательной колбы; при этомъ уединяющій слой не долженъ выходить за поверхность воды, покрывающей пробку. Вообще слѣдуетъ тщательно устранять всякое соприкосновеніе металла съ органическими веществами внутри колбы. По этой иричинѣ, лакированіе электродовъ не должно быть допускаемо. На нижнемъ концѣ латунныхъ стержней находятся винты f и f_1 и отверстія e и e_1 для закрѣпленія проводовъ.

Во время процесса сожиганія колба съ электродами помѣщается горломъ внизъ въ объемистый стеклянный или жестяной цилиндръ съ водой (около 45 см. высоты и 30 см. въ поперечникѣ) и удерживается

въ такомъ положеніи посредствомъ металлическаго кольца *H*, передвигаемаго на штативѣ (фиг. 23).

При анализѣ сначала производятъ сожиганіе метана и затѣмъ опредѣляютъ титрованіемъ общій объемъ углекислоты въ продуктахъ горѣнія. Вычитая изъ него количество углекислоты, содержащееся въ испытуемомъ газѣ и находимое титрованіемъ въ отдѣльной пробѣ, по разности получается объемъ углекислоты, которая образовалась при горѣніи. Такимъ образомъ, все изслѣдованіе состоитъ изъ двухъ операцій:

1) сожиганіе метана и титрованіе общаго количества углекислоты;

2) опредѣленіе углекислоты въ отдѣльной пробѣ газа.

1) *Сожиганіе метана.* Опытъ показалъ, что присутствіе органическихъ веществъ вредитъ точности анализа. Чтобы устранить соприкосновеніе каучука пробки съ газами при процессѣ сожиганія, вынимаютъ стеклянную затычку и быстро вставляютъ въ отверстіе пробки носикъ пипетки съ 10 куб. см. воды, которую и выливаютъ въ колбу; послѣ этого вынимаютъ пипетку и тотчасъ же снова закрываютъ каналъ стеклянной палочкой. При поворачиваніи сосуда горломъ внизъ пробка является покрытой слоемъ воды (*ис*—фиг. 23). Очевидно, что объемъ влитой воды, точно такъ же, какъ и объемъ, занимаемый электродами, должны быть вычтены изъ общей вмѣстимости колбы.

Фиг. 25.

Поставивъ послѣднюю въ ванну *C*, пропускаютъ токъ и нагрѣваютъ платиновую спираль до свѣтло-краснаго каленія; при показанныхъ выше размѣрахъ проволоки (0,35 мм. діаметромъ и до 7 см. длины) для этого необходима сила тока въ 7—9 амперъ. Если токъ слабѣе, то платина накаливается недостаточно, и горѣніе происходитъ неполное; наоборотъ, при болѣе сильномъ токѣ проволока расплавляется. Въ видахъ предосторожности, накаливаніе продолжаютъ въ теченіе $^1/_2$—$^3/_4$ часа, хотя въ дѣйствительности процессъ горѣнія оканчивается гораздо ранѣе.

Послѣ размыканія цѣпи замѣняютъ подъ водой пробку съ электродами на первоначальную съ двумя каналами, вынимаютъ колбу изъ воды и вливаютъ въ нее опредѣленный объемъ титрованнаго баритоваго раствора, напримѣръ, 25 куб. см. Для этого вынимается одна изъ стеклянныхъ затычекъ и въ отверстіе пробки возможно быстрѣе вставляется наконечникъ бюретки съ баритовой водой; послѣдняя обыкновенно вливается сама собой, и пріоткрывать второго канала въ пробкѣ не приходится. Затѣмъ наконечникъ бюретки вынимаютъ и тотчасъ же затыкаютъ отверстіе

стеклянной палочкой; при этомъ изъ колбы выходитъ объемъ воздуха, соотвѣтствующій объему влитой баритовой воды. Его слѣдуетъ вычесть изъ общаго количества взятой пробы. При легкомъ встряхиваніи колбы газовая смѣсь остается въ соприкосновеніи съ баритовымъ растворомъ до тѣхъ поръ, пока не произойдетъ полное поглощеніе углекислоты. По истеченіи 10 — 15 минутъ титруютъ избытокъ барита, не вошедшаго въ реакцію, растворомъ газонормальной щавелевой кислоты. Для этой цѣли сначала вливаютъ въ колбу черезъ одно изъ отверстій въ пробкѣ нѣсколько капель разведеннаго спиртового раствора фенолфталеина до яснаго окрашиванія жидкости въ розовый цвѣтъ; если же растворъ остается безцвѣтнымъ, то это показываетъ, что баритовой воды было взято недостаточное количество. Тогда необходимо прибавить новое количество ея, и только послѣ полнаго поглощенія углекислоты приступать къ титрованію. Щавелевая кислота приливается медленно, по каплямъ, изъ бюретки, носикъ которой вставляется въ отверстіе въ пробкѣ колбы (фиг. 25). Разность въ числѣ кубическихъ сантиметровъ газонормальнаго раствора щавелевой кислоты, расходуемой для насыщенія взятаго объема баритовой воды до и послѣ сожиганія, даетъ непосредственно общее количество кубическихъ сантиметровъ углекислоты въ продуктахъ горѣнія.

2) Опредѣленіе углекислоты. Въ коническую колбу набирается отдѣльная проба испытуемаго газа и прибавляется извѣстный объемъ баритовой воды. Послѣ поглощенія углекислоты избытокъ барита титруется газонормальной щавелевой кислотой съ соблюденіемъ описанныхъ выше предосторожностей.

Вычитая соотвѣтствующее количество изъ общаго объема углекислоты въ продуктахъ горѣнія при предыдущемъ опредѣленіи, получаютъ по разности число кубическихъ сантиметровъ метана во взятомъ объемѣ газа. Для вычисленія содержанія метана этотъ объемъ долженъ быть приведенъ къ 0^0 С. и нормальному атмосферному давленію.

Для примѣра я приведу данныя анализа, произведеннаго во время моего посѣщенія въ лабораторіи *Брюкенберскаго каменноугольнаго Общества* въ Цвикау въ Саксоніи (въ іюлѣ 1898 г.). Изслѣдованію была подвергнута проба воздуха изъ одного изъ квершлаговъ шахты II.

а) *Опредѣленіе углекислоты.* Въ колбу съ испытуемой смѣсью, вмѣстимостью = 1104 куб. см., прилито 20 куб. см. баритовой воды, 1 куб. см. которой отвѣчалъ 1,32 куб. см. раствора газонормальной щавелевой кислоты, или 1,32 куб. см. CO_2.

Объемъ газа, взятаго для изслѣдованія, = 1104 — 20 = 1084 куб. см., при температурѣ = 24^0 С. и давленіи 738 мм. Объемъ газа, приведенный въ 0^0 С. и 760 мм., = 938 куб. см., При титрованіи израсходовано 22,0 куб. см. газонормальной щавелевой кислоты, что отвѣчаетъ $20 \times 1{,}32 - 22{,}0 =$ = 4,4 куб. см. углекислаго газа, или $\frac{4{,}4 \times 100}{938} = 0{,}469\%$ CO_2 по объему.

б) *Опредѣленіе метана.* Коническая колба, вмѣстимостью въ 2310 куб. см., была наполнена до черты изслѣдуемымъ воздухомъ; за вычетомъ объемовъ электродовъ (7 куб. см.) и воды надъ пробкой (10 куб. см.), взято газа 2293 куб. см., при температурѣ = 24° С. и 738 мм.; приведенный къ нормальнымъ условіямъ объемъ = 1985 куб. см.

Послѣ сожиганія израсходовано на 20 куб. см. баритовой воды, влитой въ колбу, 15,4 куб. см., газонормальной щавелевой кислоты, что отвѣчаетъ общему количеству 26,4 — 15,4 = 11,0 куб. см., или 0,554% CO_2 по объему; за вычетомъ 0,469% углекислоты, найденной при предыдущемъ опредѣленіи, получаемъ содержаніе метана = 0,085% по объему.

ПРИЛОЖЕНІЕ.

Таблицы для приведенія газовыхъ объемовъ къ 0° С. и 760 мм.

(по Л. Либерману [1]).

Примѣръ пользованія таблицами.

Объемъ газа при температурѣ 24,0° С. и барометрическомъ давленіи въ 738,0 мм. ртутнаго столба (перечисленнаго на 0° С.) найденъ = 1084,0 куб. см. Для приведенія къ нормальному состоянію, т. е. къ температурѣ 0° С. и давленію 760 мм., поступаютъ слѣдующимъ образомъ:

1) Въ *четвертомъ* столбцѣ таблицъ отыскиваютъ для температуры 24,0° С. соотвѣтствующую упругость водяного пара и вычитаютъ ея величину изъ наблюденнаго барометрическаго давленія (738,0 мм.):

$$738{,}0 - 22{,}2 = 715{,}8 \text{ мм.}$$

2) Опредѣляется объемъ, который занимала-бы единица объема (одинъ куб. сантиметръ) газа, измѣреннаго при 715,8 мм., послѣ приведенія къ нормальному состоянію. Для этого выписываютъ изъ *третьяго* столбца числа, отвѣчающія температурѣ 24,0° С. и цифрамъ 7, 1, 5 и 8 *второго* столбца, помножаютъ ихъ послѣдовательно на 100, 10, 1 и 0,1 и складываютъ. Полученная сумма даетъ величину приведеннаго объема для одного кубическаго сантиметра:

7	0,0084658	×	100	= 0,84658
1	0,0012094	×	10	= 0,012094
5	0,0060470	×	1	= 0,0060470
8	0,0096752	×	0,1	= 0,00096752
				0,86562852.

3) Помножая найденный факторъ 0,8656 на величину измѣреннаго первоначально объема (1084,0 куб. см.), получаютъ исправленный объемъ газа въ кубич. сантиметрахъ:

$$1084{,}0 \times 0{,}8656 = 938{,}3 \text{ куб. см.}$$

[1]) *Cl. Winkler*: Lehrbuch der technischen Gasanalyse, 3 изданіе, стр. 207.

Температура °С.	Давленіе въ мм. ртутн. столба.	Объемъ при 0° С. и 760 мм. ртутнаго столба.	Упругость водянаго пара въ мм. ртутнаго столба.
0	1	0,0013157	
0	2	0,0026315	
0	3	0,0039473	
0	4	0,0052631	
0	5	0,0065789	0° = 4,5
0	6	0,0078946	0,5° = 4.7
0	7	0,0092104	
0	8	0,0105262	
0	9	0,0118120	
1	1	0,0013109	
1	2	0,0026219	
1	3	0,0039329	
1	4	0,0058438	
1	5	0,0065548	1,0° = 4,9
1	6	0,0078657	1,5° = 5,1
1	7	0,0091767	
1	8	0,0104876	
1	9	0,0117986	
2	1	0,0013061	
2	2	0,0026123	
2	3	0,0039184	
2	4	0,0052246	
2	5	0,0065307	2,0° = 5,3
2	6	0,0078369	2,5° = 5,5
2	7	0,0091430	
2	8	0,0104492	
2	9	0,0117553	
3	1	0,0013013	
3	2	0,0026026	
3	3	0,0039039	
3	4	0,0052053	
3	5	0,0065066	3,0° = 5,6
3	6	0,0078079	3,5° = 5,7
3	7	0,0091093	
3	8	0,0104106	
3	9	0,0117119	
4	1	0,0012965	
4	2	0,0025930	
4	3	0,0038895	
4	4	0,0051860	
4	5	0,0064825	4,0° = 6,0
4	6	0,0077790	4,5° = 6,3
4	7	0,0090755	
4	8	0,0103720	
4	9	0,0116685	

Температура °С.	Давленіе въ мм. ртутн. столба.	Объемъ при 0° С. и 760 мм. ртутнаго столба.	Упругость водянаго пара въ мм. ртутнаго столба.
5	1	0,0012916	
5	2	0,0025833	
5	3	0,0038750	
5	4	0,0051667	
5	5	0,0064584	5,0° = 6,5
5	6	0,0077501	5,5° = 6,7
5	7	0,0090418	
5	8	0,0103335	
5	9	0,0116252	
6	1	0,0012868	
6	2	0,0025737	
6	3	0,0038606	
6	4	0,0051474	
6	5	0,0064343	6,0° = 6,9
6	6	0,0077212	6,5° = 7,2
6	7	0,0090080	
6	8	0,0102949	
6	9	0,0115818	
7	1	0,0012828	
7	2	0,0025656	
7	3	0,0038484	
7	4	0,0051312	
7	5	0,0064140	7,0° = 7,4
7	6	0,0076968	7,5° = 7,7
7	7	0,0089796	
7	8	0,0102624	
7	9	0,0115452	
8	1	0,0012783	
8	2	0,0025566	
8	3	0,0038349	
8	4	0,0051132	
8	5	0,0063915	8,0° = 8,0
8	6	0,0076698	8,5° = 8,3
8	7	0,0089481	
8	8	0,0102264	
8	9	0,0115047	
9	1	0,0012737	
9	2	0,0025474	
9	3	0,0038211	
9	4	0,0050948	
9	5	0,0063685	9,0° = 8,5
9	6	0,0076422	9,5° = 8,8
9	7	0,0089159	
9	8	0,0101896	
9	9	0,0114633	

Температура °C.	Давленіе въ мм. ртутн. столба.	Объемъ при 0° C. и 760 мм. ртутнаго столба.	Упругость водянаго пара въ мм. ртутнаго столба.
10	1	0,0012692	
10	2	0,0025384	
10	3	0,0038076	
10	4	0,0050768	10,0° = 9,1
10	5	0,0063460	10,5° = 9,4
10	6	0,0076152	
10	7	0,0088844	
10	8	0,0101536	
10	9	0,0114228	
11	1	0,0012648	
11	2	0,0025296	
11	3	0,0037944	
11	4	0,0050592	11,0° = 9,7
11	5	0,0063240	11,5° = 10,1
11	6	0,0075888	
11	7	0,0088536	
11	8	0,0101184	
11	9	0,0113832	
12	1	0,0012603	
12	2	0,0025206	
12	3	0,0037809	
12	4	0,0050412	12,0° = 10,4
12	5	0,0063015	12,5° = 10,8
12	6	0,0075618	
12	7	0,0088221	
12	8	0,0100824	
12	9	0,0113427	
13	1	0,0012559	
13	2	0,0025188	
13	3	0,0037677	
13	4	0,0050236	13,0° = 11,1
13	5	0,0062795	13,5° = 11,5
13	6	0,0075354	
13	7	0,0087913	
13	8	0,0100472	
13	9	0,0113031	
14	1	0,0012516	
14	2	0,0025032	
14	3	0,0037548	
14	4	0,0050064	14,0° = 11,9
14	5	0,0062580	14,5° = 12,3
14	6	0,0075096	
14	7	0,0087612	
14	8	0,0100128	
14	9	0,0112644	

Температура °C.	Давленіе въ мм. ртутн. столба.	Объемъ при 0° C. и 760 мм. ртутнаго столба.	Упругость водяного пара въ мм. ртутнаго столба.
15	1	0,0012472	
15	2	0,0024944	
15	3	0,0037416	
15	4	0,0049888	
15	5	0,0062360	15,0° = 12,7
15	6	0,0074832	15,5° = 13,1
15	7	0,0087304	
15	8	0,0099776	
15	9	0,0112248	
16	1	0,0012429	
16	2	0,0024858	
16	3	0,0037287	
16	4	0,0049716	
16	5	0,0062145	16,0° = 13,5
16	6	0,0074574	16,5° = 13,9
16	7	0,0087003	
16	8	0,0099432	
16	9	0,0111861	
17	1	0,0012386	
17	2	0,0024772	
17	3	0,0037158	
17	4	0,0049544	
17	5	0,0061930	17,0° = 14,4
17	6	0,0074316	17,5° = 14,8
17	7	0,0086702	
17	8	0,0099088	
17	9	0,0111474	
18	1	0,0012344	
18	2	0,0024688	
18	3	0,0037032	
18	4	0,0049376	
18	5	0,0061720	18,0° = 15,3
18	6	0,0074064	18,5° = 15,8
18	7	0,0086408	
18	8	0,0098752	
18	9	0,0111096	
19	1	0,0012301	
19	2	0,0024602	
19	3	0,0036903	
19	4	0,0049204	
19	5	0,0061505	19,0° = 16,3
19	6	0,0073806	19,5° = 16,8
19	7	0,0086107	
19	8	0,0098408	
19	9	0,0110709	

Температура °C.	Давленіе въ мм. ртутн. столба.	Объемъ при 0° C. и 760 мм. ртутнаго столба.	Упругость водяного пара въ мм. ртутнаго столба.
20	1	0,0012259	
20	2	0,0024518	
20	3	0,0036777	
20	4	0,0049036	
20	5	0,0061295	20,0° = 17,4
20	6	0,0073554	20,5° = 17,9
20	7	0,0085813	
20	8	0,0098122	
20	9	0,0110331	
21	1	0,0012218	
21	2	0,0024436	
21	3	0,0036654	
21	4	0,0048872	
21	5	0,0061090	21,0° = 18,5
21	6	0,0073308	21,5° = 19,0
21	7	0,0085526	
21	8	0,0097744	
21	9	0,0109962	
22	1	0,0012176	
22	2	0,0024352	
22	3	0,0036528	
22	4	0,0048704	
22	5	0,0060880	22,0° = 19,6
22	6	0,0073056	22,5° — 20,2
22	7	0,0085232	
22	8	0,0097408	
22	9	0,0109584	
23	1	0,0012135	
23	2	0,0024270	
23	3	0,0036405	
23	4	0,0048540	
23	5	0,0060675	23,0° = 20,9
23	6	0,0072810	23,5° = 21,5
23	7	9,0084945	
23	8	0,0097080	
23	9	0,0109215	
24	1	0,0012094	
24	2	0,0024188	
24	3	0,0036282	
24	4	0,0048376	
24	5	0,0060470	24,0° = 22,2
24	6	0,0072564	24,5° = 22,8
24	7	0,0084658	
24	8	0,0096752	
24	9	0,0108846	

Температура °C.	Давленіе въ мм. ртутн. столба.	Объемъ при 0° С. и 760 мм. ртутнаго столба.	Упругость водяного пара въ мм. ртутнаго столба.
25	1	0,0012054	
25	2	0,0024108	
25	3	0,0036162	
25	4	0,0048216	
25	5	0,0060270	$25,0_0 = 23,5$
25	6	0,0072324	$25,5^0 = 24,2$
25	7	0,0084378	
25	8	0,0096432	
25	9	0,0108486	
26	1	0,0012013	
26	2	0,0024026	
26	3	0,0036039	
26	4	0,0048052	
26	5	0,0060065	$26,0^0 = 25,0$
26	6	0,0072078	$26,5^0 = 25,7$
26	7	0,0084091	
26	8	0,0096104	
26	9	0,0108117	
27	1	0,0011973	
27	2	0,0023946	
27	3	0,0035910	
27	4	0,0047892	
27	5	0,0059865	$27,0^0 = 26,5$
27	6	0,0071838	$27,5^0 = 27,2$
27	7	0,0083811	
27	8	0,0095784	
27	9	0,0107757	
28	1	0,0011933	
28	2	0,0023866	
28	3	0,0035799	
28	4	0,0047732	
28	5	0,0059665	$28,0^0 = 28,1$
28	6	0,0071598	$28,5^0 = 28,9$
28	7	0,0083531	
28	8	0,0095464	
28	9	0,0107397	
29	1	0,0011894	
29	2	0,0023788	
29	3	0,0035682	
29	4	0,0047576	
29	5	0,0059470	$29,0^0 = 29,8$
29	6	0,0071364	$29,5^0 = 30,6$
29	7	0,0083258	
29	8	0,0095152	
29	9	0,0107046	
30	1	0,0011855	
30	2	0,0023710	
30	3	0,0035565	
30	4	0,0047420	
30	5	0,0059275	$30,0^0 = 31,6$
30	6	0,0071130	$30,5^0 = 32,4$
30	7	0,0082985	
30	8	0,0094840	
30	9	0,0106695	

СМѢСЬ.

Кальцитъ и арагонитъ.

Проф. Як. В. Самойлова.

Какъ извѣстно, углекислый кальцій кристаллизуется въ природѣ въ видѣ двухъ полиморфныхъ разностей: 1) въ ромбоэдрическомъ отдѣленіи гексагональной системы—чрезвычайно распространенный минералъ-кальцитъ (известковый шпатъ) и 2) въ ромбической системѣ—арагонитъ.

Весьма поучительно и иной разъ весьма важно опредѣлить, въ какой разности выкристаллизовался углекислый кальцій въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Рѣшеніе этой задачи весьма просто, когда имѣются многогранники роста (кристаллы) кальцита и арагонита. Но даже и при отсутствіи многогранниковъ роста подобное опредѣленіе не представляетъ никакой трудности, если въ нашемъ распоряженіи находится углекислый кальцій въ видѣ образчика достаточной величины.

Кальцитъ можетъ быть обнаруженъ, благодаря весьма совершенной его спайности по основному ромбоэдру (три направленія спайности); арагонитъ не обладаетъ подобною спайностью. Далѣе, можно отличить эти полиморфныя разности по удѣльному вѣсу (уд. в. кальцита—2,6 . . . 2,8, уд. в. арагонита—2,9 . . . 3,0), для чего особенно удобно примѣненіе метода опредѣленія посредствомъ тяжелыхъ жидкостей. На останавливаюсь на вопросѣ о выясненіи оптическихъ свойствъ для указанной цѣли и на не особенно надежныхъ способахъ различенія напр., по твердости).

Всѣ вышеприведенные методы различенія представляютъ собою физическіе методы; примѣненіе ихъ иногда можетъ представлять различныя затрудненія, особенно въ тѣхъ случаяхъ, когда разсматриваемыя полиморфныя разности встрѣчаются въ видѣ тонкихъ пленокъ, корокъ, натековъ, волосковъ и т. д. Неоцѣнимую услугу въ интересующемъ вопросѣ оказываетъ примѣненіе химическаго метода.

Въ самое послѣднее время указана была *Meigen*'омъ [1]) чрезвычайно простая и совершенно неожиданная химическая реакція для различенія кальцита и арагонита. Мелко растертое испытуемое вещество помѣщается въ пробирку и подвергается въ теченіе 1—2 минутъ кипяченію въ разбавленномъ растворѣ *азотнокислаго кобальта*. Въ этихъ условіяхъ порошокъ арагонита измѣняется въ цвѣтѣ: онъ дѣлается тотчасъ лиловымъ, и дальнѣйшее кипяченіе вызываетъ только потемнѣніе (темнолиловый); напротивъ, кальцитъ, даже при болѣе

[1]) *W. Meigen.* Centralblatt für Mineralogie. 1901, № 19, p. 577.

продолжительномъ кипяченіи, остается бѣлымъ или же только послѣ кипяченія въ теченіе 5—10 минутъ пріобрѣтаетъ нѣсколько свѣтлоголубой оттѣнокъ.

Какъ и можно было ожидать, эта реакція немедленно возбудила къ себѣ большой интересъ со стороны различныхъ минералоговъ. Между прочимъ, на этой почвѣ возникла даже полемика между нѣкоторыми изслѣдователями. Итальянскій минералогъ *Panebianco* [1]) отнесся отрицательно къ реакціи *Meigen*'а, утверждая, что различіе между кальцитомъ и арагонитомъ проявляется только въ первые моменты, а чрезъ короткій срокъ кальцитъ принимаетъ лазуревый оттѣнокъ, который постепенно усиливается по мѣрѣ кипяченія, и тогда уже невозможно отличить известковый шпатъ отъ арагонита.

Въ небольшой замѣткѣ, въ отвѣтъ на возраженія *Panebianco*, *Вырубовъ* [2]) останавливается также на разъясненіи самой реакціи. Такъ какъ химически арагонитъ и кальцитъ тождественны, то различіе результатовъ при дѣйствіи азотнокислымъ кобальтомъ, очевидно, обусловливается различіемъ въ кристаллической частицѣ. Частицы арагонита, менѣе устойчивыя, подвергаются нѣкоторому растворенію и обнаруживаютъ химическую реакцію:

$$CaCO^3 + Co(NO^3)^2 = Ca(NO^3)^2 + CoCO^3,$$

въ то время, какъ болѣе устойчивыя частицы кальція не подвергаются никакому измѣненію и не обнаруживаютъ реакціи. Конечно, подобное объясненіе пока только схематично и для точнаго разъясненія этой любопытнѣйшей реакціи, намъ думается, слѣдовало бы произвести точный химическій анализъ измѣнившагося въ цвѣтѣ вещества, и можно разсчитывать, что подобное изслѣдованіе не заставитъ себя долго ждать.

Съ точки зрѣнія неодинаковой устойчивости кальцита и арагонита по отношенію къ *раствору азотнокислаго кобальта ничего удивительнаго не было бы, если бы и известковый шпатъ при очень продолжительномъ кипяченіи не сталъ бы обнаруживать* реакцію, сходную съ *арагонитомъ. Но это обстоятельство нисколько не умаляло бы достоинства* реакціи *Meigen*'а, такъ какъ даже и согласно утвержденію отрицательно настроеннаго *Panebianco* слѣдуетъ, что различить арагонитъ и кальцитъ возможно, если производить опытъ при одинаковыхъ условіяхъ. А въ доказательство того, что при обычныхъ условіяхъ воспроизведенія реакціи стушевываніе въ результатахъ, обнаруживаемыхъ известковымъ шпатомъ и арагонитомъ, происходитъ совсѣмъ не скоро, я могу привести слѣдующее.

Повторяя на известковомъ шпатѣ (изъ Исландіи) и арагонитѣ изъ Бакальскаго рудника (Ю. Уралъ) реакцію съ азотнокислымъ кабальтомъ, согласно указаніямъ *Meigen*'а и получивши чрезвычайно рѣзкое окрашиваніе отъ арагонита и отсутствіе такового въ кальцитѣ, я, въ виду утвержденія *Panebianco*, сохранилъ пробирки, въ которыхъ производились эти реакціи, и могу указать, что, спустя нѣсколько недѣль, можно было констатировать такое же рѣзкое различіе между реакціей арагонита и кальцита, какъ и въ первую минуту, и наступающее нѣкоторое, весьма слабое измѣненіе цвѣта кальцита (скорѣе позеленѣніе) нисколько не вредитъ рѣзкости реакціи различенія.

Meigen говоритъ, что различіе между арагонитомъ и кальцитомъ сказывается еще рѣзче, если отфильтровать порошокъ и промыть его, но въ сущности никакой нужды въ этомъ не представляется.

Въ работѣ, излагающей болѣе подробно результаты изслѣдованій [3]), и въ небольшомъ

[1]) *Panebianco*. Rivista de Mineral. e Cristall. 1902, XXVIII, 5.
[2]) *G. Wyroubоff*. Bull. d. Soc. franç. d. Minéral., 1902, XXV, 69.
[3]) *W. Meigen*. Beiträge z. Kenntniss des kohlensauren Kalkes, Freib. i. Br. 1902.

извлеченіи [1]) *Meigen*, кромѣ реакціи съ азотнокислымъ кобальтомъ, приводитъ еще и другую реакцію—дѣйствіе концентрированнаго раствора *желѣзнаго купороса* или Моровской соли на порошокъ кальцита и ааргонита.

Послѣ кипяченія въ концентрированномъ растворѣ желѣзнаго купороса порошка кальцита образуется желтый осадокъ (гидрата окиси желѣза, по мнѣнію *Meigen*'а), а при кипяченіи арагонита—темнозеленый осадокъ (гидрата закиси—окиси желѣза). Впечатлѣніе отъ повторенія этой послѣдней реакціи, пожалуй, таково, что она нѣсколько менѣе рѣзка, но это только относительно, такъ какъ и эта реакція, въ смыслѣ своей опредѣленности, рѣшительно ничего не оставляетъ желать. По истеченіи недѣли различіе въ реакціи, обнаруженной арагонитомъ и кальцитомъ, не сгушевалось.

Здѣсь можно еще отмѣтить, что такую же реакцію какъ арагонитъ и по отношенію къ азотнокислому кобальту, и по отношенію къ желѣзному купоросу обнаруживаютъ витеритъ ($BaCO^3$) и стронціанитъ ($SrCO^3$); напротивъ, природный магнезитъ ($MgCO^3$) реагируетъ какъ кальцитъ.

Такъ какъ можетъ показаться любопытнымъ, что навело *Meigen*'а на испытаніе подобныхъ реакцій, то по этому поводу можно сообщить слѣдующее. *Meigen* вообще подвергъ изслѣдованію вопросъ о дѣйствіи углекислаго кальція на растворы тяжелыхъ металловъ. Онъ примѣнялъ: $MnSO^4.5H^2O$, $ZnSO^4.7H^2O$, $FeCl^3.6H^2O$, $CuSO^4.5H^2O$ и друг. и при этомъ онъ случайно напалъ на столь цѣнное дѣйствіе азотнокислаго кобальта и желѣзнаго купороса.

Пожалуй, допустимо предположеніе, что для полиморфныхъ разностей и другихъ веществъ могутъ быть встрѣчены подобныя же химическія реакціи.

Владѣя такой удобной и простой реакціей, *Meigen* произвелъ обширное изслѣдованіе надъ твердыми частями растеній и особенно животныхъ, какъ нынѣ живущихъ, такъ и ископаемыхъ, всѣхъ типовъ и различныхъ классовъ, и получилъ такимъ образомъ очень интересную таблицу распредѣленія арагонита и кальцита у различныхъ представителей растительнаго и животнаго міра.

Какъ извѣстно, вопросу объ условіяхъ кристаллизаціи углекислаго кальція въ видѣ известковаго шпата или арагонита посвящена довольно обширная литература (*Rose*, *Credner*, *Bauer*, *Vater*, *Adler*). Реакціи *Meigen*'а могутъ оказать чрезвычайно цѣнную услугу и въ этомъ интереснѣйшемъ минералогическомъ вопросѣ. При искусственномъ воспроизведеніи реакцій, которыя должны разъяснить процессы, происходящіе въ земной корѣ, весьма часто большія или меньшія затрудненія представляетъ самое опредѣленіе выдѣляющагося матеріала, который нерѣдко выпадаетъ въ видѣ тонкаго порошка. Чрезвычайно простыя реакціи *Meigen*'а совершенно устраняютъ это послѣднее затрудненіе.

Пользуясь реакціей *Meigen*'а, недавно выполнилъ небольшую, но интересную работу *Warth* [2]). Этотъ авторъ получалъ арагонитъ при обыкновенной температурѣ, при чемъ образованіе арагонита обусловливалось только характеромъ раствора—именно основною реакціей раствора, изъ котораго идетъ выдѣленіе. *Warth* идетъ еще дальше и выдѣленіе арагонита изъ горячихъ растворовъ также сводитъ къ основному характеру этихъ растворовъ.

Вопросы объ образованіи арагонита и кальцита касается въ своей недавней работѣ *Foote* [3]), который указываетъ, что, согласно его изслѣдованіямъ, при всѣхъ температурахъ кальцитъ устойчивѣе арагонита. При быстромъ выдѣленіи (изъ горячихъ растворовъ), согласно

---

[1]) *W. Meigen.* Ber. d. Oberrhein. Geol. Ver. 1902, XXXV.

[2]) *H. Warth.* CentralBlatt f. Mineral. 1902, № 16, p. 492.

[3]) *Foote.* Zeitschr. f. physik. Chemie. 1900, XXXIII, 740.

правилу *Ostwald*'а, образуется неустойчивая форма—арагонитъ, который и переходитъ въ болѣе устойчивую форму, образуются псевдоморфозы кальцита по арагониту. Согласно *Foote*'у, обратныя псевдоморфозы арагонита по кальциту—невозможны, и онъ разсматривалъ бы таковыя только, какъ псевдоморфозы выполненія.

Однако, исходя изъ работы *Warth*'а, нельзя признать цѣликомъ такого заключенія, и псевдоморфозы арагонита по кальциту можно разсматривать какъ настоящія псевдоморфозы, образованіе которыхъ можетъ быть обусловлено измѣненіемъ характера реакціи раствора.

Во всякомъ случаѣ, надо сказать, что установленныя *Meigen*'омъ реакціи являются классическими по своей простотѣ и рѣзкости, и потому имъ суждено, на нашъ взглядъ, сдѣлаться самыми обычными въ минералогической практикѣ и войти даже въ самыя элементарныя руководства минералогіи.

Проф. Як. Самойловъ.

Замѣтка по поводу статьи инженера С. Суржицкаго: «Непрерывный сталеплавильный процессъ въ мартеновскихъ печахъ».

Горн. инж. Г. Гергардта.

Въ виду интереса, возбужденнаго статьей г. инженера С. Суржицкаго [1]), прошу помѣстить нижеприводимыя замѣчанія. Я надѣюсь, что коллеги-сталелитейщики помѣстятъ на страницахъ «Горн. Журн.» свои наблюденія и тѣмъ помогутъ выяснить степень пригодности непрерывнаго процесса. Это особенно важно теперь, гдѣ желѣзный ломъ дорогъ и достать его трудно, а дешевый чугунъ имѣется въ изобиліи, и по экономическимъ соображеніямъ приходится переходить къ одному изъ рудныхъ процессовъ.

Непрерывный мартеновскій процессъ, проведенный инженеромъ Суржицкимъ впервые въ обыкновенныхъ стоячихъ мартеновскихъ печахъ, имѣетъ безусловно много преимуществъ, но я не думаю, чтобы онъ вытѣснилъ бы употребляемые нынѣ способы работы. Главное достоинство мартеновскаго производства передъ большинствомъ другихъ производствъ состоитъ въ томъ, что плавку можно произвольно долго держать въ печи и, прибавляя добавочные матеріалы, какъ то: зеркальный чугунъ, ферро-марганецъ, ферро-силиціумъ и проч., беря пробы, проковывая, закаливая, изгибая и ломая ихъ, можно почти всегда съ увѣренностью приготовить металлъ желаемыхъ свойствъ. Этого преимущества и не имѣетъ за собой непрерывный мартеновскій процессъ, такъ какъ плавка доводится въ печи только до полнаго обезуглероживанія, а сталь готовится требуемой твердости уже въ разливномъ ковшѣ, гдѣ не имѣется времени, чтобы взять пробы и испытывать матеріалъ. Сравнительно точно можно по пробамъ, взятымъ изъ печи, прокованнымъ и изломаннымъ, опредѣлить содержаніе *Mn* и *C*, когда содержаніе ихъ въ желѣзѣ выше 0,30% и 0,07%, но очень трудно по прокованнымъ пробамъ точно опредѣлить, доведена ли плавка до полнаго обезуглероживанія или она немного перекислена; а разъ этого момента нельзя легко и точно установить, то и нельзя опредѣлить точно количество необходимыхъ присадокъ въ ковшъ, а слѣдовательно нельзя и готовить металлъ съ напередъ предписаннымъ содержаніемъ *Mn* и *C*; во всякомъ случаѣ, колебанія этихъ двухъ важнѣйшихъ элементовъ въ стали будутъ при непрерывномъ мартеновскомъ процессѣ всегда значительно больше въ отдѣльныхъ плавкахъ, чѣмъ при прерывномъ мартеновскомъ процессѣ, гдѣ плавка готовится только въ печи и уже готовой и испробованной выпускается въ ковшъ. Всякому сталеплавильщику, которому приходилось готовить сталь съ

[1]) „Горн. Журн.“ Янв. 1903 г., стр. 132.

строго предписаннымъ химическимъ составомъ, знакомо, сколько труда стоитъ даже въ обыкновенныхъ печахъ готовить однородныя плавки, не отличающіяся на много одна отъ другой, и какъ разнятся при этомъ количества прибавленныхъ къ отдѣльнымъ плавкамъ добавочныхъ матеріаловъ. Еще важный недостатокъ способа обуглероживанія плавки въ ковшѣ состоитъ въ томъ, что плавка никогда не будетъ во всей своей массѣ однородной. Расплавленное желѣзо есть густая жидкость, въ которой ферро-марганецъ хотя и быстро расплавляется, но очень трудно и медленно растворяется. Въ этомъ легко убѣдиться, если послѣ прибавленія ферро-марганца въ печь взять съ разныхъ мѣстъ расплавленной ванны пробы: содержаніе *C* и особенно *Mn* будетъ очень сильно колебаться; даже перемѣшавши расплавленную ванну хорошо желѣзнымъ крюкомъ и взявши съ разныхъ мѣсть ея одновременно пробы, мы еще найдемъ разницы въ содержаніи *Mn*, доходящія до 0,20 %, и только при переливаніи стали въ ковшъ достигается большая однородность. Прибавляя-же ферро-марганецъ, даже подогрѣтымъ, въ видѣ маленькихъ кусковъ прямо въ ковшъ, онъ, по моему мнѣнію, не растворится равномѣрно въ стали, а образуетъ въ ней отдѣльныя гнѣзда съ бо́льшимъ содержаніемъ *Mn* и *C*, чѣмъ вся масса стали, и хорошаго перемѣшиванія уже не достигается даже при сифонной отливкѣ плавки. По крайней мѣрѣ, при опытахъ, произведенныхъ на нашемъ заводѣ, при прибавленіи ферро-марганца въ ковшъ получалась сталь вообще неоднородная, и бывали даже случаи, что при разрывныхъ пробахъ изъ такихъ плавокъ въ мѣстѣ разрыва можно было констатировать неоднородность металла [1]). Было бы очень желательно, если бы г-нъ Суржицкій представилъ бы не только отдѣльныя разрывныя пробы отъ разныхъ плавокъ, но взявши отъ нѣсколькихъ плавокъ по 5—6 болванокъ, отлитыхъ частью въ началѣ, частью въ концѣ разливки плавки, прокаталъ бы эти болванки въ полосы и представилъ бы опять по 5—6 разрывныхъ пробъ съ разныхъ мѣстъ этихъ полосъ; тогда получилось бы наглядное представленіе о качествѣ и однородности металла, приготовленнаго непрерывнымъ мартеновскимъ процессомъ.

При изготовленіи литого желѣза и стали для трубъ, листовъ, особенно тонкихъ, и вообще для производствъ, въ которыхъ желѣзо подвергается впослѣдствіи сильной механической переработкѣ, приходится особенно остерегаться неспокойныхъ плавокъ, дающихъ легко пузыристыя болванки; такія плавки держатъ въ печи послѣ прибавленія ферро-марганца и проч. по получасу и болѣе для полнаго успокоенія стали и для выдѣленія окисловъ изъ нея. Какъ готовить такія плавки при непрерывномъ процессѣ? Въ ковшѣ приготовить нельзя, а приготовить ее въ печи и потомъ отъ такой сравнительно дорогостоящей плавки отлить только $^1/_4$ или $^1/_3$ ея, а къ остальному прибавить чугунъ? Экономично ли это? Въ виду всего этого необходимо допустить, что непрерывный процессъ примѣнимъ только при изготовленіи литого желѣза средняго качества [2]), отъ котораго не требуется большая однородность и допускаются сравнительно большія колебанія въ содержаніи *Mn* и *C*, какъ, напр., для балокъ и пр.; а вездѣ, гдѣ требуется хорошее качество литого желѣза и стали и тщательное приготовленіе плавки, тамъ онъ непримѣнимъ или невыгоденъ. Исключеніе составляютъ только тѣ случаи, когда имѣется чугунъ съ большимъ содержаніемъ *Mn* и малымъ содержаніемъ *S*, такъ что для окончательнаго приготовленія плавки требуется только *очень* незначительное количество ферро-марганца, отъ 0,1 до 0,2%, и расходъ на окончательное приготовленіе всей

[1]) Неоднородность металла, обуглероживаемаго непосредственно въ разливномъ ковшѣ, констатируетъ и инженеръ Genzmer-Baildonhütte bei Kattowitz. Stahl und Eisen, годъ 1902, № 1, стр. 51.

[2]) См. Stahl u. Eisen годъ 1902, № 1, докладъ директора E. Holz.

плавки въ печи ничтоженъ.—Хотя непрерывный мартеновскій процессъ, дѣйствительно, въ виду своей непрерывности, и приближается къ тому идеалу, къ какому мы стремимся во всѣхъ металлургическихъ процессахъ, но имѣетъ тотъ большой недостатокъ, что при немъ изъ приготовленной стали только $^1/_3$—$^1/_4$ отливаемъ, а остальное количество готовой стали опять превращаемъ въ сырой матеріалъ; потому такому процессу еще далеко до совершенства—по крайней мѣрѣ въ теперешнемъ видѣ. Инженеръ Стобрава предложилъ въ «Stahl u. Eisen» 1902 годъ, № 4, стр. 213, примѣнять наклоняемыя печи только для предварительнаго обезуглероживанія чугуна, а ужъ окончательное приготовленіе плавки производить въ обыкновенныхъ мартеновскихъ печахъ; это предложеніе имѣетъ очень многое за себя и его то легко было бы выполнить печью системы г. Суржицкаго.

Что касается выполнимости работъ въ печи г. Суржицкаго, то не вполнѣ понятно, какъ возможно будетъ произвести поправку пода печи. Послѣ выпуска части плавки, къ остатку ея прибавляются руда и известь; онѣ растворяются въ имѣющемся въ печи шлакѣ и разъѣдаютъ подъ и стѣнки печи въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ соприкасаются съ ними; поправка этихъ мѣстъ трудна, такъ какъ шлакъ ихъ прикрываетъ, а послѣ прибавки чугуна къ плавкѣ, эти мѣста покрыты сталью и опять ихъ нельзя поправить. Также трудно будетъ при большихъ печахъ, вмѣстимостью въ 50—75 тоннъ, выпускать точно опредѣленное количество стали; стоитъ только стали при выпускѣ разъѣсть на 20 милиметровъ дно выпускного отверстія, то выльется уже на 150—200 пудовъ стали больше и остановить льющуюся струю литой стали трудно. А разъ не имѣется въ ковшѣ всегда одинаковое количество стали, то невозможно опредѣлить количество необходимыхъ присадокъ.

Приведенное увеличеніе производительности при системѣ г. Суржицкаго на 30% получается при сравненіи съ печами, работающими съ холодною насадкою; интересно было бы знать, какъ измѣнится этотъ %, если сравнить съ производительностью обыкновенной мартеновской печи, работающей на жидкомъ чугунѣ. Это потому важно, что, вѣдь, всякій заводъ, который имѣетъ доменныя печи вблизи сталелитейной и соотвѣтственныя подъемныя устройства, будетъ всегда работать на жидкомъ чугунѣ.

Густ. Герхардтъ.

Николай Александровичъ Кулибинъ.

(*Некрологъ*).

Горн. инж. Н. П. Версилова.

Не прошло еще двухъ лѣтъ съ того дня, когда нашъ ученый и промышленный міръ, и въ особенности семья горныхъ инженеровъ, торжественно, тепло, сердечно праздновали юбилей полувѣковой общественной и педагогической дѣятельности Н. А. Кулибина, какъ уже приходится сказать надгробное слово этому почтенному труженику. 11 апрѣля, въ семь часовъ вечера, смерть похитила его.

Въ свое время въ «Горномъ Журналѣ» (1901 г., № 6, стр. 360) была помѣщена подробная біографія покойнаго и былъ приложенъ перечень его научныхъ трудовъ. Съ тѣхъ поръ Николай Александровичъ съ прежнимъ усердіемъ продолжалъ служебную дѣятельность. Засѣданія Горнаго Совѣта неизмѣнно шли подъ его предсѣдательствомъ и почти ни одно засѣданіе Горнаго Ученаго Комитета не проходило безъ его участія. Въ половинѣ-же февраля текущаго года Николай Александровичъ былъ командированъ, въ качествѣ представителя Министерства

Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ, въ Екатеринославъ, для присутствованія на первомъ выпускномъ экзаменѣ въ тамошнемъ Высшемъ Горномъ Училищѣ.

Къ учрежденію этому покойный всегда относился съ особенною симпатіею и приложилъ въ свое время немало стараній для его созданія. Поэтому возможность присутствовать при вступленіи первыхъ питомцевъ Училища на жизненный путь глубоко его радовала. Изъ разсказовъ прибывшихъ изъ Екатеринослава инженеровъ, а равно изъ словъ супруги Николая Александровича, сопутствовавшей ему въ поѣздкѣ, ярко выступаетъ вся та заботливость, все то вниманіе, съ которымъ онъ отнесся къ новому своему порученію. Онъ близко принялъ къ сердцу все, что касается устройства Училища и его оборудованія; онъ легко познакомился съ профессорами и студентами и на первыхъ-же порахъ пріобрѣлъ и въ тѣхъ, и въ другихъ горячія къ себѣ симпатіи, такъ какъ въ немъ увидѣли не черствaго формалиста, но душевнаго человѣка, одновременно и требовательнаго, но и добраго, всегда готоваго прійти на помощь. Все это было высказано Николаю Александровичу на обѣдѣ, который давали ему на прощанье профессора, за нѣсколько дней до его отъѣзда изъ Екатеринослава.

Среди многочисленныхъ командировокъ, которыя выпали на долю усопшаго въ теченіе его слишкомъ полувѣковой служебной дѣятельности, поѣздка въ Екатеринославъ была для него, надо думать, одною изъ наиболѣе симпатичныхъ, такъ какъ связана была съ возможностью еще разъ поработать для тамошняго Горнаго Училища, которому покойный всегда удѣлялъ большое мѣсто въ своемъ любвеобильномъ сердцѣ. Но въ то-же время поѣздка эта была для Николая Александровича и послѣдней.

Холодная, вѣтряная погода, бывшая въ Екатеринославѣ, неблагопріятно повліяла на здоровье Николая Александровича, и уже на дорогѣ въ Петербургъ онъ почувствовалъ себя дурно. Начался кашель, температура постепенно повышалась, такъ что по пріѣздѣ онъ тотчасъ слегъ въ постель и докторъ нашелъ у него кровоизліяніе въ легкія. Надежда могла-бы быть лишь въ томъ случаѣ, если-бы сердце могло пересилить болѣзнь. Но сердце начало слабѣть, больной сталъ бредить и лишь изрѣдка приходилъ въ сознаніе. Въ одну изъ такихъ минутъ просвѣтлѣнія, увидя у своей кровати директора горнаго департамента Н. А. Іосса, больной обратился къ нему съ просьбой объ оказаніи правительственной поддержки Екатеринославскому горному училищу. Это безкорыстное ходатайство о своемъ любимцѣ было послѣдними сознательными словами, вырвавшимися изъ устъ Николая Александровича. Онъ почилъ, какъ выше уже сказано, въ семь часовъ вечера, 11 апрѣля, въ присутствіи жены и окруженный родными.

Безконечная доброта и тактъ покойнаго извѣстны всѣмъ, кому приходилось съ нимъ сходиться. Старые ученики Горнаго Института, бывшіе кадеты, живо вспоминаютъ тѣ дни, когда они ѣздили съ Николаемъ Александровичемъ на практическія занятія по заводамъ Финляндіи, гдѣ онъ отлагалъ въ сторону формальную субординацію того времени, держалъ себя съ своими учениками какъ старшій товарищъ и тѣмъ приносилъ большую пользу ихъ работамъ. Сослуживцы покойнаго всегда находили въ немъ вѣрнаго ходатая о нуждахъ своихъ, даже и тѣ, кого принято называть мелкими сошками, шли прямо къ нему со всѣми своими печалями и въ огромномъ большинствѣ уходили отъ него утѣшенными.

13-го апрѣля состоялся выносъ тѣла изъ квартиры, литургія и панихида въ церкви Горнаго Института и затѣмъ похороны на Смоленскомъ горномъ кладбищѣ. Быть похороненнымъ на горномъ кладбищѣ, вмѣстѣ съ другими горными дѣятелями, было непремѣннымъ желаніемъ покойнаго. Какъ въ церковь, такъ и на проводы на кладбище собрались, можно сказать, почти всѣ находившіеся въ Петербургѣ и близко знавшіе его или служившіе съ нимъ инженеры, чиновники, родственники и знакомые. Былъ министръ А. С. Ермоловъ и его

товарищъ А. Х. Стевенъ. Присутствовалъ также братъ его К. А. Кулибинъ и двѣ его сестры. Гробъ какъ въ церковь, такъ и изъ церкви, равно какъ и на кладбищѣ до могилы, несли на рукахъ инженеры, сослуживцы и знакомые.

На гробъ было возложено много вѣнковъ, между которыми находились: отъ Горнаго Совѣта, Горнаго Ученаго Комитета, Горнаго Департамента, отъ Горнаго Института Императрицы Екатерины II, отъ Екатеринославскаго Высшаго Горнаго Училища, отъ Геологическаго Комитета, Общества Горныхъ Инженеровъ и отъ многихъ частныхъ лицъ. Жена получила много сочувственныхъ телеграммъ изъ разныхъ мѣстъ Россіи.

Прощай же, добрый профессоръ-товарищъ, и да будетъ тебѣ вѣчная память!

БИБЛІОГРАФІЯ.

The Iron Age. Февраль, 1903.

Горн. инж. М. А. Павлова.

Въ № 6 начата и въ слѣдующемъ окончена интересная статья *о южно-русской желѣзной промышленности*, представляющая извлеченіе изъ доклада, который сдѣлалъ *Archibald Head* въ лондонскомъ *Society of Arts*. Лично посѣтивъ заводы и рудники юга Россіи, собравъ обстоятельныя свѣдѣнія по интересовавшимъ его вопросамъ, *Archibald Head* въ своемъ докладѣ выясняетъ положеніе желѣзной промышленности юга Россіи преимущественно съ экономической точки зрѣнія. Подробными подсчетами онъ опредѣляетъ себѣ—стоимость: криворожской руды на рудникахъ (4 коп. пудъ) и на заводахъ Донецкаго бассейна (10,25 к.), флюса (3,5 коп. въ среднемъ), каменнаго угля (6 коп.), кокса (10,6 к.), промытой марганцовой руды никопольскихъ мѣсторожденій (14,6 коп. на рудникахъ) и, наконецъ,—чугуна литейнаго, шпигеля (20%) и ферромангана (80%) для заводовъ, работающихъ въ Донецкомъ бассейнѣ. Расцѣнку чугуновъ мы приведемъ здѣсь:

Желѣзной рудой кривор.	1,66 . 10,25 = 17,1 к.;	1,25 . 11 = 13,8 к.;	0,13 . 11,75 = 1,5 к.
Марганцов. » никоп.	— — »	0,6 . 31 = 18,6 »	2,50 . 31 = 77,5 »
Коксомъ	0,95 . 17 = 16,2 »	1,4 . 17 = 23.8 »	2,50 . 17 = 42,5 »
Флюсомъ	0,50 . 2 = 1,0 »	1,0 . 2 = 2,0 »	1 . 2 = 2,0 »
Платами и накл. расх.	7,7 »	13,0 »	15,0 »
	42,0 к.	71,2 к.	1 р. 38,5 к.

Нужно замѣтить, что цѣна флюса была выведена выше, чѣмъ принятая въ расцѣнкѣ, а стоимость марганцовой руды никопольскихъ мѣсторожденій *A. Head* опредѣлилъ (въ зависимости отъ содержанія марганца, по сообщенной ему расцѣнкѣ), упустивъ изъ вида, что въ Донецкомъ бассейнѣ съ никопольской рудой успѣшно конкурируетъ кавказская, обходящаяся дешевле 31 коп.; наконецъ, расходъ кокса на литейный чугунъ принятъ ниже дѣйствительнаго, цѣна же кокса нѣсколько преувеличена.

Извлеченіе изъ доклада *A. Head*, сдѣланное въ *Iron Age*, сопровождается картой юга Россіи, указывающей положеніе всѣхъ заводовъ, и детальной картой криворожскихъ мѣсторожденій; къ подлинному же докладу приложено нѣсколько фототипій, изображающихъ доменныя печи и заводы, осмотрѣнные *A. Head*.

Рельсы изъ никкелевой стали. Въ видѣ опыта, *обществомъ Пенсильванской желѣзной дороги* было уложено 250 тоніъ рельсовъ изъ никкелевой стали на одномъ изъ важнѣйшихъ участковъ обширной сѣти дорогъ этой компаніи (подковообразная петля на перевалѣ чрезъ *Аллегены*, у города *Альтуна*). Результатомъ опыта явился заказъ компаніи *Карнеги* на 9000 тоннъ рельсовъ изъ бессемеровской стали съ содержаніемъ 3,25—3,50% никкеля. Рельсы будутъ уложены на кривыхъ съ наиболѣе усиленнымъ движеніемъ. Разсчитываютъ, что *двойная* стоимость никкелевыхъ рельсовъ окупится съ избыткомъ тройнымъ или пятернымъ срокомъ службы ихъ и стоимостью изношенныхъ рельсовъ, которые, какъ дорогой скрапъ, будутъ поступать въ мартеновскія печи для извлеченія всего никкеля, заключающагося въ нихъ.

№ 7. *Воздухонагрѣватель Moore.* Особенность описаннаго въ замѣткѣ и изображеннаго *семью* фигурами регенеративнаго воздухонагрѣвателя заключается въ сожиганіи газа подъ куполомъ воздухонагрѣвателя и въ заполненіи всего поперечнаго сѣченія его насадкой. Детали устройства новаго воздухонагрѣвателя тоже оригинальны и заслуживаютъ быть отмѣченными. Нагрѣтое дутье отводится отъ верхней части купола,—ось клапана горячаго дутья совмѣщается съ осью воздухонагрѣвателя. Газъ вводится подъ куполъ 17 вертикальными горѣлками, расположенными по окружности, діаметръ которой, приблизительно, въ два раза меньше діаметра воздухонагрѣвателя. Этимъ не только достигаются совершенное горѣніе и равномѣрное распредѣленіе тепла въ пространствѣ подъ куполомъ, но и равномѣрное распредѣленіе продуктовъ горѣнія въ каналахъ насадки. Всѣ горѣлки регулируютя и могутъ быть плотно заперты или вполнѣ открыты *одновременно* посредствомъ маленькихъ клапановъ, получающихъ движеніе отъ пневматическихъ цилиндриковъ, чѣмъ ручная работа при переводѣ аппарата съ газа на воздухъ и обратно почти вполнѣ устранена. Насадка, самой простой формы, составлена изъ кирпича $3^1/_2''$ толщины, образующаго ячейки $9'' \times 9''$.

Непосредственное полученіе желѣза изъ рудъ въ электрической печи Стассано. Статья передаетъ содержаніе доклада, который сдѣлалъ *Goldschmidt* электротехническому обществу въ Кёльнѣ. *Goldschmidt* посѣтилъ заводъ *Стассано* въ *Darfo* (Сѣверная Италія) и на основаніи личныхъ наблюденій и сдѣланныхъ имъ самимъ анализовъ даетъ такія подробности о производствѣ желѣза по способу *Стассано*.

Составъ сырыхъ матеріаловъ: *руда* содержитъ 93,02% окиси желѣза (65,11% желѣза), 0,62% закиси марганца, 3,79% кремнезема, 0,058% сѣры, 0,5 % извести и магнезіи и 1,72% воды; *флюсъ* содержитъ извести 51,21%, магнезіи 3,11%, глинозема 0,5%, кремнезема 0,9% и углекислоты 43,43%; *древесный уголь* содержитъ 90,42% углерода. 3,88% золы и 5,70% влаги. Къ углю прибавляется смѣсь, содержавшая 59,2% углерода (нелетучаго), 40,5% углеводородовъ и 0,27% золы.

Садка для одной операціи состояла изъ: 100 kgr. руды, 12,5 kgr. флюса и 23 kgr. древеснаго угля.

Операція продолжается 2 часа. Необходимая для работы электрическая энергія дается тремя динамомашинами въ 1100 лошадиныхъ силъ, возбуждающими перемѣнный токъ до 2000 амперъ, при напряженіи 170 вольтъ. Во время работы печи токъ регулируется такъ: чрезъ 20 минутъ отъ начала операціи онъ достигаетъ 80 амперъ при напряженіи 80 вольтъ, чрезъ 20 слѣдующихъ минутъ—1000 амперъ при 100 вольтахъ и поддерживается такимъ въ теченіе 30 минутъ; затѣмъ, сбавляя постепенно мощность тока и его напряженіе, доводятъ его до 500 амперъ при 50 вольтахъ; однако, послѣднія 20 минутъ снова достигаютъ 1000 амперъ при 100 вольтахъ. Расходъ электрической энергіи на одну операцію *Goldschmidt* опредѣляетъ въ 7.290.000 вольтъ-амперъ-минутъ, или 132 лошадиныхъ силъ - часовъ.

По тѣмъ даннымъ, которыя приводитъ Goldschmidt, можно разсчитать, что выходъ желѣза равенъ 94,4%, сѣры переходитъ въ металлъ около 52%, фосфора—лишь 10%, а кремній почти не возстановляятся, какъ видно изъ анализа полученнаго металла:

Желѣза	99,76%
Марганца	0,092%
Кремнія	нѣтъ
Сѣры	0,059%
Фосфора	0,009%
Углерода	0,090%

Подробными вычисленіями *Gotdschmidt* опредѣлилъ, что полученіе 1 тонны желѣза въ часъ требуетъ работы 3364 лошадиныхъ силъ, при чемъ электрическая энергія обходится въ 19,17 лиръ, и что заводъ, располагающій 5000 HP, можетъ дать въ сутки 30 тоннъ желѣза, одна метр. тонна котораго обойдется:

Желѣзной рудой	1,6	15	24,00	лиръ
Измельченіемъ руды	1,6	3	4,80	»
Флюсомъ	0,2	5	1,00	»
Древеснымъ углемъ	0,25	45	11,25	»
Измельченіемъ угля	0,25	2	0,50	»
Угольной массой	0,16	70	13,30	»
Дѣломъ массы			6,75	»
Угольными электродами 12 kgr. × 2,3			3,60	»
Электрической энергіей 4000 × 0,005			22,80	»
Платами			6,00	»
Стоимостью инструментовъ			3,00	»
» содержанія и ремонта печи			12,00	»
накладными и общими расходами			3,00	»
			112,00	лиръ

Вычтя изъ итога стоимость 900 куб. метр. газа по 0,02 лиры за 1 куб. метръ, получитъ стоимость тонны желѣза 94 лиры, или 58 коп. пудъ.

Въ настоящее время процессъ *Стассано* нельзя считать окончательно выработаннымъ, хотя заводъ въ *Darfo* уже поглотилъ около милліона лиръ; это отчасти объясняется тѣмъ, что *Стассано* работаетъ на своемъ заводѣ безъ какихъ бы то ни было сотрудниковъ, будучи не только инженеромъ и химикомъ, но и чернорабочимъ въ тоже время.

Химическій составъ и плотность стальныхъ слитковъ. Въ статьѣ излагаются результаты изслѣдованій *Бринеля*, извѣстныхъ со времени Парижской выставки 1900 года и описанныхъ, прежде всего, на русскомъ языкѣ (горн. инж. Фоссъ), затѣмъ: на шведскомъ (*Iernkontorets Annaler*, 1901), англійскомъ (*Journal of the Iron and Steel Institute*, 1902) и, наконецъ, нѣмецкомъ (Stahl und Eisen, № 1, 1903).

Въ № 9 можно указать лишь на интересную, но переведенную съ нѣмецкаго (St. u. E., № 1, 1903) статью о производствѣ издѣлій изъ ковкаго чугуна.

---

[1]) „Извѣст. О. Г. И.“ 1900, тоже „Г. Ж.“ 1902, IV.

The Iron and Coal Trades Review. Февраль, 1903.

№ 1823 (6 февраля). *Передѣльный заводъ въ Port Talbot и его оборудованіе* (электрической энергіей). Заводъ въ *Port Talbot* (Южн. Уэльсъ) выстроенъ въ послѣдніе три года и имѣетъ сталелитейное (10 мартеновскихъ печей) и прокатное отдѣленіе съ нѣсколькими вспомогательными мастерскими.

Центральная электрическая станція.

Двигатель центральной станціи — паровая машина компаундъ безъ конденсаціи въ 550 HP, діаметръ паров. цил. высокаго давленія 19″, низк. давл.—30″, ходъ 40″, число оборотовъ 90, давленіе пара 140 фунтовъ. Маховикъ машины, 16′ діам., служитъ шкивомъ для 14 канатовъ $1^1/_2$″ діаметр., приводящихъ въ движеніе двѣ, насаженныя на одну ось, динамомашины постояннаго тока (600 амперъ при 250 вольтахъ напряженія), дѣлающихъ 450 оборотовъ. Для освѣщенія завода въ помѣщеніи центральной станціи установлена спеціальная вертикальная машина въ 45 HP, дѣлающая 300 оборотовъ (динамо—900).

Заводъ освѣщается 24 дуговыми фонарями, на 2000 свѣчей каждый, и 106 лампочками накаливанія въ 16 свѣчей каждая.

Мостовые краны, обслуживающіе *яму для разливки стали*, на 25 тоннъ съ разносомъ $46^1{}_2$′, имѣютъ по три мотора каждый: 1) подъемъ,—со скоростью 6′ въ минуту для наибольшаго груза и 30′ для легкаго,—производится электромоторомъ въ 18 HP (*max.* 27); 2) движеніе телѣжки крана по его балкамъ,—со скоростью 60′—100′ въ минуту,—производится моторомъ въ 8 (*max.* 12) HP; 3) движеніе крана вдоль мастерской со скоростью 120′—180′ въ минуту производится моторомъ въ 12 (*max.* 18) HP; всѣ моторы дѣлаютъ по 500 оборотовъ.

Такого же устройства кранъ установленъ надъ *прокатными валами* (разносъ 40′).

Надъ *калильными печами* (колодцами) установлено 2 мостовыхъ крана: 1 на 10 и 1 на 5 тоннъ.

	10 тоннъ.	5 тоннъ.
Скорость подъема груза и сила мотора	10′— 20′; 8—12 HP;	8′— 18′; 4 HP
» движенія телѣжки » »	50′—100′; 5—$7^1/_2$ HP;	75′—150′; 4 HP
» » крана » »	150′—250′; 8—12 HP;	150′—300′; 4 HP

Вентиляторы Pyhul,—два для трехъ вагранокъ,—приводятся въ движеніе 2 электромоторами постояннаго тока, развивающими каждый работу въ 52 HP при 700 оборотахъ. Постоянно работаетъ лишь одинъ электромоторъ,—другой служитъ запаснымъ.

Шилы и ножницы. Пила для горячаго металла приводится въ движеніе моторомъ въ 100—120 силъ (?), дѣлающимъ 470 оборотовъ; пила для холоднаго металла—моторомъ въ 10 силъ, дѣлающимъ 1000 оборотовъ; ножницы для обрѣзки жести—моторомъ въ 20 силъ (800 оборотовъ) съ зубчатой уменьшающей передачей.

У *прокатныхъ валовъ* установлено 12 моторовъ, развивающихъ отъ 20 до 30 HP при 500 оборотахъ и приводящихъ въ движеніе *катки* у валовъ, катки между валами и ножницами (пилами) и катки, подающіе разрѣзанныя полосы къ охладительному стану. Всѣ эти моторы имѣютъ зубчатую передачу, сокращающую число оборотовъ до 55. Наконецъ, два мотора въ 20 HP, съ 1000 оборотами, установленные на вершинахъ *станинъ* прокатныхъ

валовъ, приводятъ въ движеніе, чрезъ посредство зубчатой передачи, горизонтальную рейку производящую *нажимъ валовъ*.

№ 1824. *Очистка колошниковыхъ газовъ доменныхъ печей.* III. Въ этой главѣ упоминавшейся уже раньше статьи описываются способы очистки газовъ, примѣненные на заводахъ *Дюрфердингенъ* и *Дюделингенъ*, на основаніи данныхъ извѣстнаго доклада *Люрмана* (St. u. E. 1901, 446—448, онемъ отзывъ проф. *Тиме* «Г. Ж.» 1902, I, 209), т. к. никакихъ новыхъ свѣдѣній неизвѣстный авторъ не сообщаетъ, хотя и даетъ 2 вертикальныхъ разрѣза вентилятора, чѣмъ существенно дополняетъ *Люрмана*, давшаго лишь наружный видъ вентилятора.

О врубовыхъ машинахъ на каменноугольныхъ рудникахъ. Въ замѣткѣ передается содержаніе доклада *Dury Mitton* о результатахъ опытовъ надъ примѣненіемъ врубовыхъ машинъ на разныхъ рудникахъ. Содержаніе доклада можетъ быть резюмировано такъ: 1) Нельзя считать электричество наивыгоднѣйшей движущей силой для врубовыхъ машинъ, т. к. сжатый воздухъ даетъ иногда лучшіе результаты. 2) Наиболѣе удобной врубовой машиной нужно считать машину *Gillott*, отличающуюся легкостью и способностью работать на двѣ противоположныя стороны. 3) Врубовыя машины даютъ слѣдующія выгоды: a) позволяютъ разрабатывать пласты твердаго угля, невыгоднаго для ручной отбойки; b) уменьшаютъ количество каменноугольнаго мусора, т. е. повышаютъ цѣнность добытаго угля, и c) увеличеніемъ производительности отбойки уменьшаютъ количество забоевъ.

Въ преніяхъ по поводу доклада многими высказывалось, что мѣстныя условія настолько разнообразны, что общаго правильнаго заключенія о примѣнимости врубовыхъ машинъ не можетъ быть сдѣлано.

H. Hall (предсѣдатель) заявилъ, что врубовыя машины едва ли даютъ сколько-нибудь значительное сбереженіе въ стоимости отбойки; только если послѣдняя превышаетъ 2 шиллинга на тонну угля, представляется случай прибѣгнуть къ механической отбойкѣ.

Sutcliffe, 27 лѣтъ работая съ врубовыми машинами, безъ всякихъ оговорокъ высказался за нихъ. Всякій практикъ, по словамъ *Sutcliffe*, можетъ безошибочно рѣшить вопросъ: таковы ли естественныя условія даннаго рудника, что допускаютъ примѣненіе врубовыхъ машинъ? Если они таковы, то переходъ къ механической отбойкѣ долженъ быть сдѣланъ рѣшительно и безповоротно: всѣ примѣняемыя теперь машины удовлетворяютъ своему назначенію и всякіе опыты въ этомъ направленіи излишни. Мнѣніе, что только пониженіе стоимости отбойки рѣшаетъ вопросъ о примѣненіи врубовыхъ машинъ,—ошибочно, и при одинаковой стоимости отбойки врубовыя машины даютъ нижеслѣдующія выгоды: a) увеличеніе производительности рудника при томъ же рабочемъ персоналѣ; b) улучшеніе качества угля; c) эксплоатація такихъ пластовъ, ручная работа въ которыхъ считается невыгодной; d) пониженіе стоимости крѣпленія; e) уменьшеніе расходовъ отъ сокращенія числа откаточныхъ путей, вентиляціонныхъ ходовъ, переборокъ, дверей и пр. Для дѣйствія машинъ электрическая энергія безусловно выгоднѣе сжатаго воздуха.

№ 1825. Этотъ № начинается краткой замѣткой *Horace Allen*, въ которой дается діаграмма расхода дутья въ доменныхъ печахъ при извѣстномъ давленіи его, расходѣ кокса въ сутки и соотвѣтственной работѣ воздуходувной машины. Разсужденія, которыми сопровождается діаграмма, показываютъ полное незнакомство автора съ теоріей доменнаго процесса.

Очистка колошниковыхъ газовъ доменныхъ печей. IV. Эта богато иллюстрированная глава упоминавшейся раньше статьи посвящена описанію разнообразныхъ устройствъ для очистки и осушенія доменныхъ газовъ системы *Lencauchez*, построенныхъ на нѣкоторыхъ доменныхъ заводахъ Франціи (*Micheville*, *Neves-Maisons*, *Pont-à-Mousson*) и Бельгіи.

Послѣднее по времени устройства *Lencauchez* для очистки газовъ представляетъ изъ себя 3 обыкновенныхъ вентилятора, насаженныхъ на одну ось; два крайніе вентилятора всасываютъ газъ изъ газопровода и, послѣ очистки, передаютъ его въ средній вентиляторъ двойной ширины, т. е. представляющій два крайнихъ, сложенныхъ вмѣстѣ. Газъ, такимъ образомъ, проходитъ послѣдовательно два вентилятора, смачиваясь водой въ каждомъ изъ нихъ. Для отдѣленія капель воды отъ газа *Lencauchez* вводитъ въ газопроводную сѣть, непосредственно за вентиляторами, особый осушитель, въ которомъ происходитъ и дальнѣйшая очистка газа отъ пыли. Осушитель представляетъ изъ себя 7 рядовъ вертикально расположенныхъ рѣшетокъ изъ желобчатаго желѣза.

По *Lencauchez*, газъ, содержащій 6—8 gr. пыли въ 1 куб. литр. послѣ прохода чрезъ вентиляторъ, содержитъ ея только 0,06 gr., осушитель же доводитъ содержаніе пыли до 0,02—0,03 gr.; на 1 куб. литр. очищаемаго газа приходится разбрызгивать 1,3 литра воды; работа, затрачиваемая на приведеніе въ дѣйствіе вентиляторовъ, составляетъ $2^0/_0$ той, которая получается утилизаціей очищеннаго газа въ газовыхъ машинахъ.

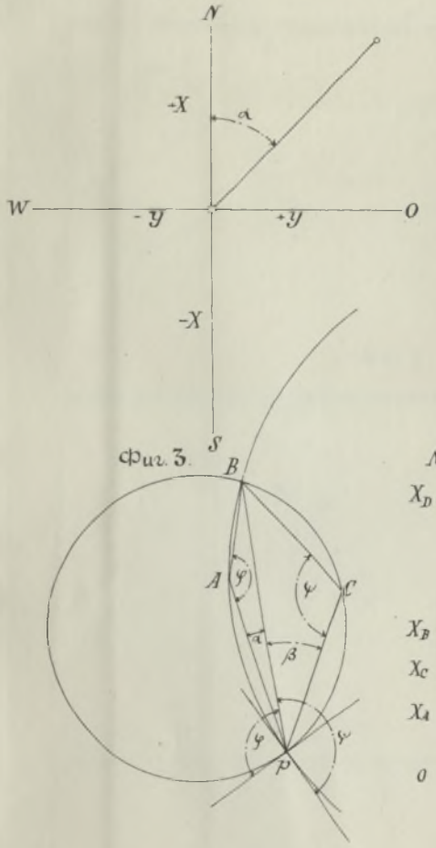
№ 1826 (27 февраля). V глава той же статьи трактуетъ *объ очисткѣ газовъ вентиляторами G. M. Capell.* То немногое, что сказано I. C. T. R., мы дополнимъ свѣдѣніями изъ другого источника,—доклада *N. M. Cochrane* кливлендскому обществу инженеровъ объ очисткѣ газовъ на доменномъ заводѣ *Ormesby* въ Мидльсборо, гдѣ вентиляторы *G. M. Capell*, построенные фирмой *Ienkins & C°* въ *Retford'*ѣ, впервые были примѣнены къ дѣлу (см. *Engineering*, 12 и 19 dec. 1902).

Газы покидаютъ доменную печь, имѣя температуру около 260° C., и по трубѣ, діаметръ которой 1,7 m., а длина 330 m., достигаютъ вентиляторовъ, имѣя температуру около 20° C. и проходя по пути чрезъ обыкновенный сухой газоочиститель, сдѣланный изъ стараго регенеративнаго воздухонагрѣвателя, раздѣленнаго перегородками на 4 отдѣленія. Газы берутся отъ 3 доменныхъ печей и очищаются двумя вентиляторами *Capell*, расположенными *послѣдовательно*. Вентиляторъ 915 mm. діам. дѣлаетъ до 1250 оборотовъ въ минуту, получая движеніе отъ расположеннаго на одной съ нимъ оси электромотора въ 18 HP. По оси вентилятора подводится вода трубкой, діам. 25 mm. Такъ какъ лопатки вентиляторовъ покрываются слоемъ пыли, который по мѣрѣ работы вентилятора значительно утолщается, то время отъ времени необходимо останавливать одинъ вентиляторъ, снимать верхнюю половину его кожуха и очищать лопатки, въ это время,—въ теченіе 2-хъ часовъ,—работаетъ другой вентиляторъ наибольшимъ числомъ оборотовъ; когда въ дѣйствіи оба вентилятора, первый изъ нихъ дѣлаетъ около 1200 оборотовъ, требуя работы 15 паровыхъ лошадей, второй же дѣлаетъ около 500 оборотовъ (10 HP), осушаетъ очищенный газъ и обходясь, значитъ, безъ воды. Средній расходъ воды, по *Codirane*, около 2,3 куб. метр. въ 1 часъ, или около 1 литра на 1 куб. метр. газа, въ которомъ содержится послѣ очистки 0,4—0,3 gr. пыли.

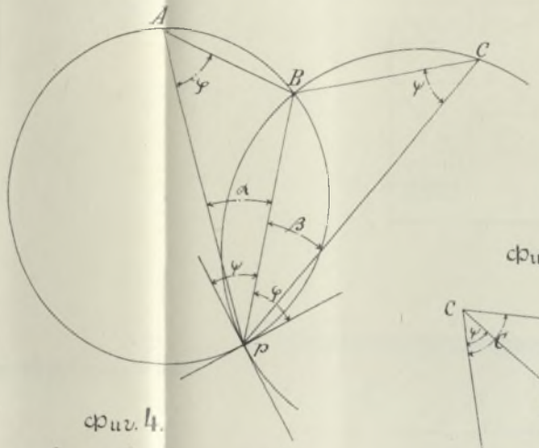
Безъ работы второго вентилятора можно обойтись, но въ такомъ случаѣ необходимо освобождать газъ отъ воды (съ пылью) дополнительнымъ фильтромъ изъ кокса.

Въ этомъ же, 1826, номерѣ *I. C. T. R.* данъ чертежъ промежуточнаго вагона-вѣсовъ, построеннаго *Lebanon Works* (Пенсильванія) и употребляемаго въ Соединенныхъ Штатахъ для автоматической загрузки бадей наклонныхъ подъемовъ американскихъ доменныхъ печей. Этотъ вагонъ вѣсомъ $5^1/_2$ тоннъ, наибольшей вмѣстимости 7 тоннъ, приводится въ движеніе электромоторами (2) въ 30 силъ, представляетъ изъ себя вѣсы Фербенкса, платформа которыхъ превращена въ кузовъ съ наклоненнымъ подъ угломъ 45° дномъ. Одна изъ боковыхъ сторонъ кузова поднимается вверхъ, отчего содержимое его автоматически и сполна вываливается въ бадью наклоннаго подъема.

Фиг. 1.

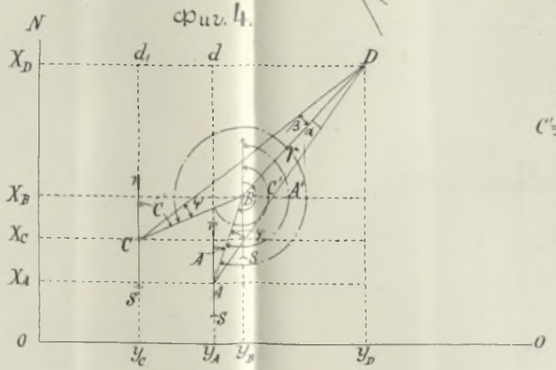


Фиг. 2.

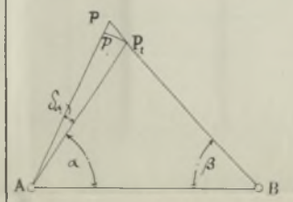


Фиг. 3.

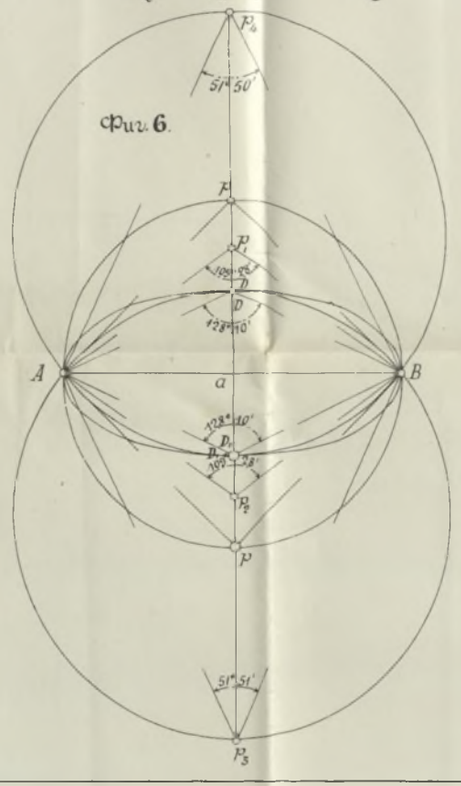
Фиг. 4.



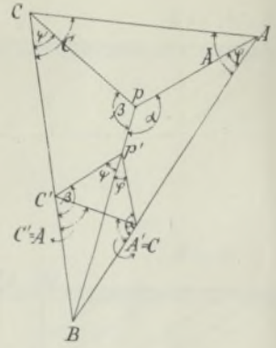
Фиг. 5.



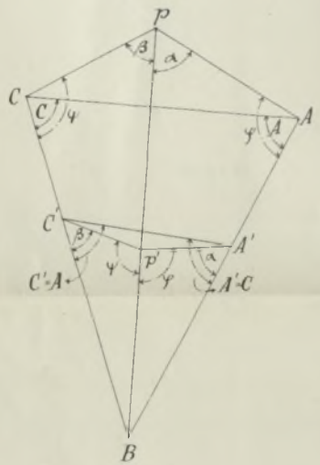
Фиг. 6.



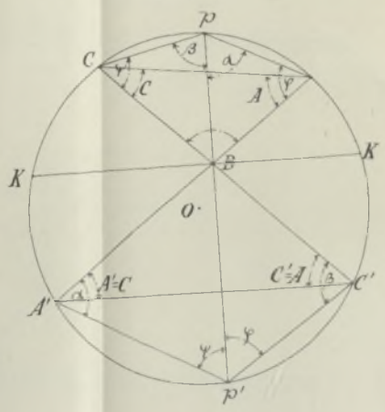
Фиг. 7.



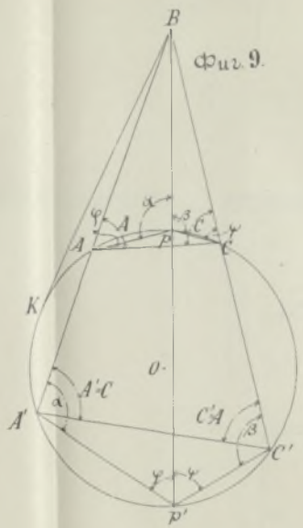
Фиг. 7'.



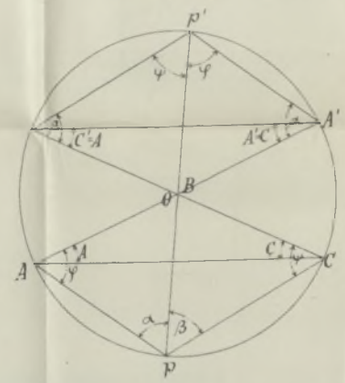
Фиг. 8.



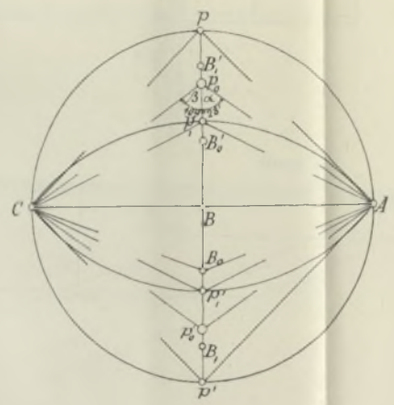
Фиг. 9.



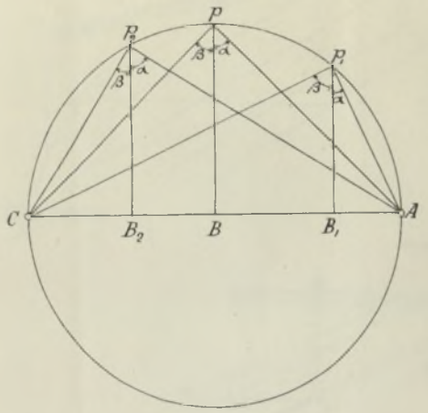
Фиг. 10.



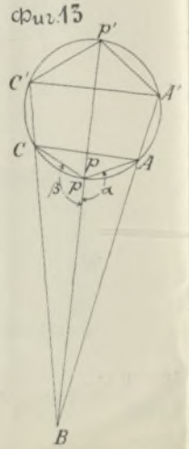
Фиг. 11.



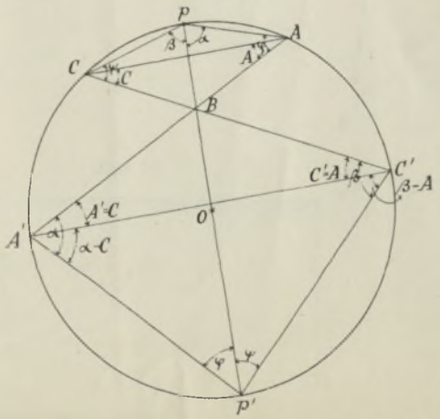
Фиг. 12.



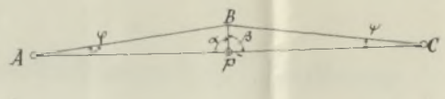
Фиг. 13.



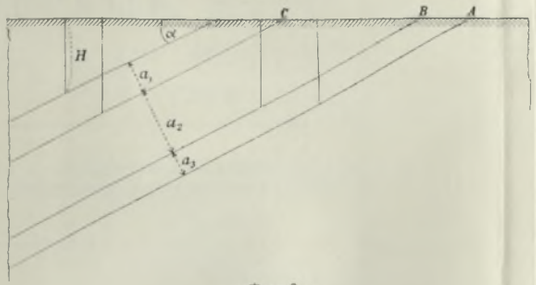
Фиг. 14.



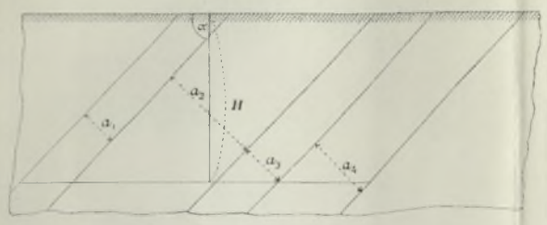
Фиг. 15.



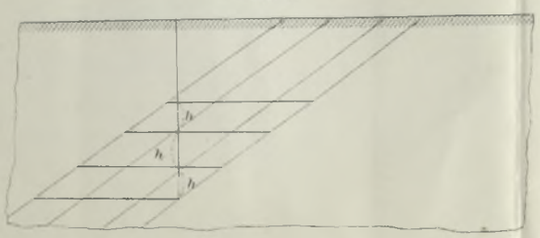
Фиг. 1.



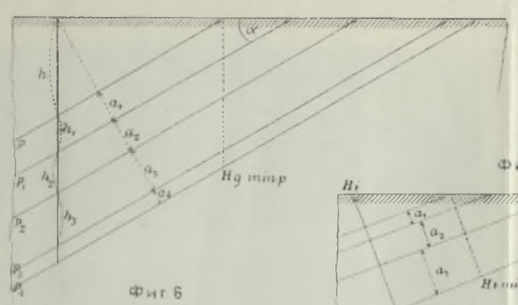
Фиг. 2.



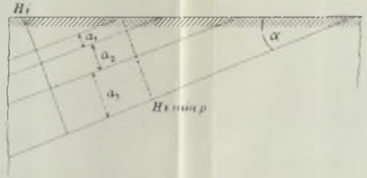
Фиг. 3.



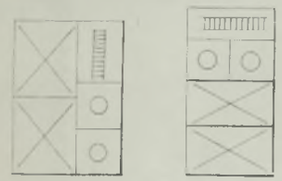
Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 6

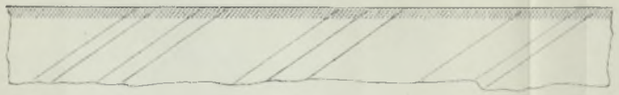


Фиг. 7.

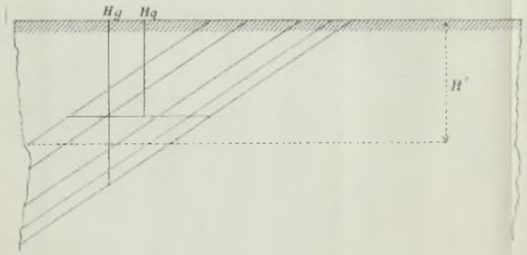
Фиг. 8.

Фиг. 9.

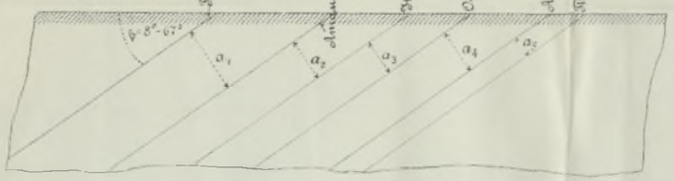
Фиг. 10.



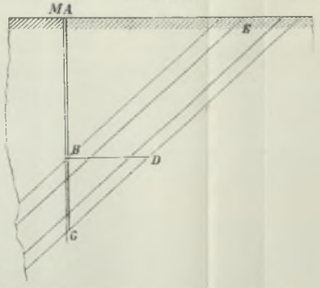
Фиг. 11.



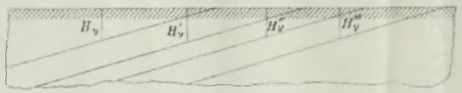
Фиг. 12



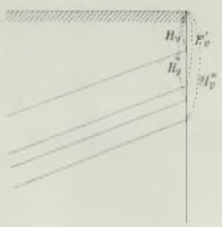
Фиг. 13.



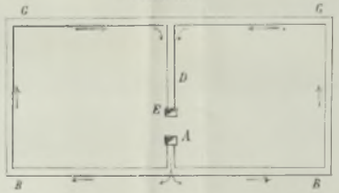
Фиг. 14.



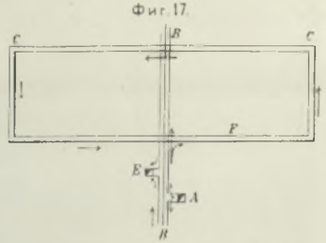
Фиг. 15.



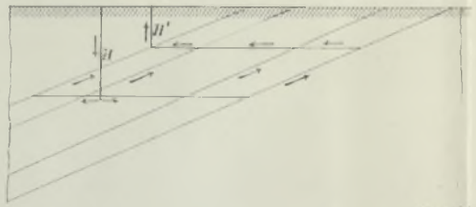
Фиг. 16.



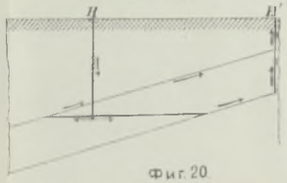
Фиг. 17.



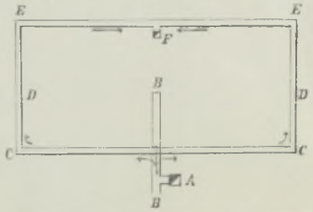
Фиг. 18



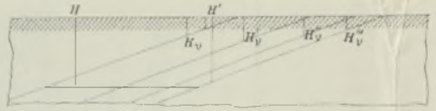
Фиг. 19.



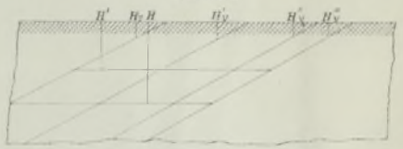
Фиг. 20.



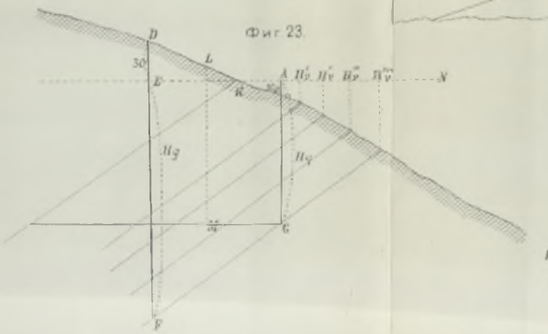
Фиг. 21.



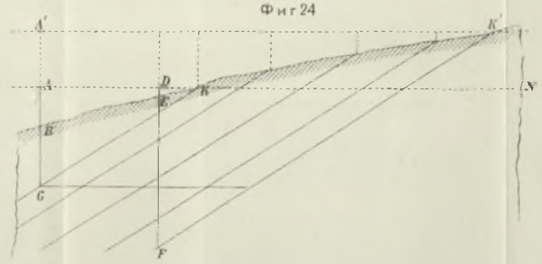
Фиг. 22.



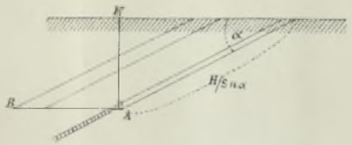
Фиг. 23.



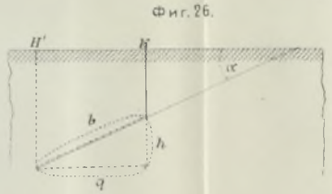
Фиг. 24



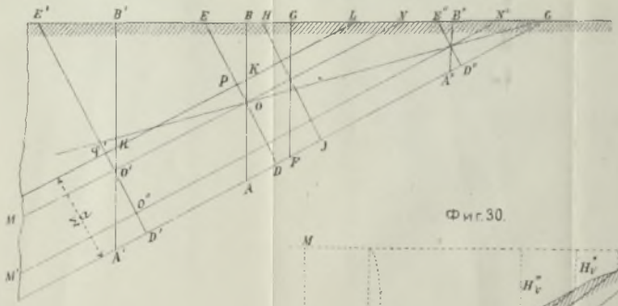
Фиг. 25.



Фиг. 26.

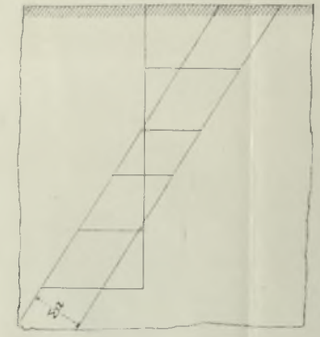


Фиг. 27.

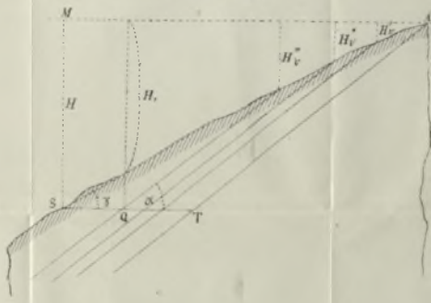


Фиг. 28.

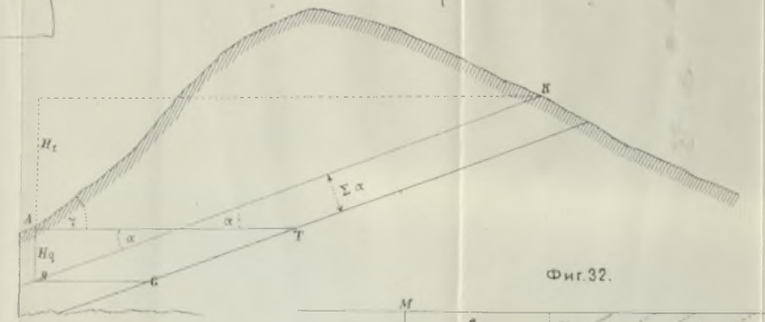
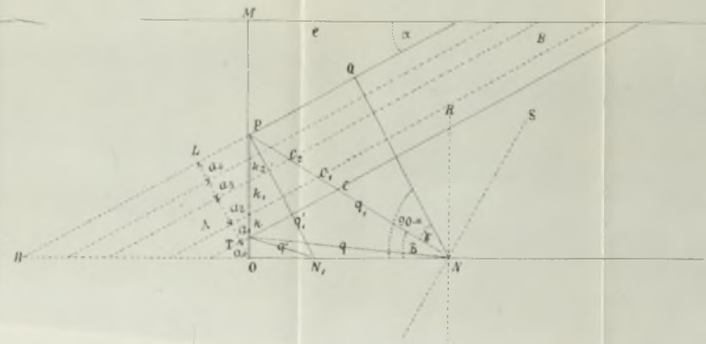
Фиг. 29.



Фиг. 30.



Фиг. 31.



Фиг. 32.