Вяч. Яцына,
Инженеръ Путей Сообщенія.

Наивыгоднѣйшее проектированіе

ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

ПРИ ОЦѢНКѢ РАСХОДОВЪ ПО ПОСТРОЙКѢ Ж. ДОРОГЪ, ШОССЕ

И

СООРУЖЕНІЙ БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Изданіе К. Л. Риккера.
Невскій пр., № 14.
1906.

Типографія Я. Трей, Разъѣзжая, 43.

Содержаніе.

I. Земляныя работы.

Выводъ выраженій объемовъ въ функціи отъ (x).

II. Искусственныя сооруженія.

Подпорныя стѣны, мосты и трубы.

1. Подпорныя стѣны.

Стран.

III. Отчужденіе земли.

IV. Опредѣленіе minimum'a стоимости земляныхъ работъ, искусственныхъ сооруженій и отчужденія.

V. Земляныя сооруженія большой площади.

Станціонныя площадки, крѣпостные верки, котлованы подъ фундаменты большихъ сооруженій, пруды, засыпка озеръ и т. п.

ВВЕДЕНІЕ.

Коммерчески-наивыгоднѣйшее проектированіе ж. д. линіи, имѣющее безспорно крупное хозяйственное значеніе, основывается на опредѣленныхъ законахъ, которымъ подчиняется взаимоотношеніе между послѣдовательными періодами созданія ж. дороги съ одной стороны и размѣрами затратъ на это созданіе—съ другой.

Подобные законы, смотря по объему активной сферы, въ предѣлахъ которой они изысканы, являются либо полностью примѣнимыми на практикѣ, либо требуютъ для такого примѣненія лишь незначительныхъ поправокъ въ силу вліянія второстепенныхъ данныхъ, выходящихъ за предѣлы активной сферы. Однимъ изъ періодовъ созданія дороги слѣдуетъ понимать коммерчески-наивыгоднѣйшее направленіе ея; къ этому вопросу, представляющему предметъ отдѣльнаго изслѣдованія, я надѣюсь обратиться особо.

Другая сторона раціональнаго созданія дороги—опредѣленіе техническихъ условій проектированія продольнаго профиля—освѣщена интересными и цѣнными соображеніями инженеръ-генерала Н. П. Петрова по вопросу объ усиленіи пропускной способности горныхъ участковъ Сибирской ж. дороги.

На ряду съ примѣрами, указанными выше, предлагаемое здѣсь изслѣдованіе касается особой стороны сооруженія дороги: опредѣленія наивыгоднѣйшаго положенія проектной линіи земляного полотна въ смыслѣ достиженія minimum'а стоимости земляныхъ работъ, кладки искусственныхъ сооруженій и площади отчужденія, въ частности же—достиженія транспортности или иной комбинаціи земляныхъ работъ.

Изложенный ниже опытъ рѣшенія поставленныхъ вопросовъ имѣетъ въ виду лишь параллельно-вертикальное перемѣщеніе проектныхъ линій частью или цѣликомъ и, такимъ образомъ, не предполагаетъ измѣненій въ расположеніи площадокъ и уклоновъ на томъ основаніи, что размѣщеніе таковыхъ обусловливается не только экономіей въ работахъ, но и цѣлями выгоднѣйшаго оборудованія дороги, что должно въ свою очередь составить предметъ особаго изслѣдованія.

Проектированіе земляного полотна въ интересующемъ насъ смыслѣ разрѣшается обыкновенно съ чисто идивидуальной точки зрѣнія; не имѣя въ основаніи точныхъ расчетовъ никто не можетъ поручиться, что нанесенное имъ положеніе проектной линіи, тѣсно связанной съ опредѣленными расходами на земляныя работы, искусственныя сооруженія и отчужденіе,—имѣетъ экономическія преимущества передъ другимъ; убѣдиться въ этомъ можно только путемъ сравнительныхъ подсчетовъ, принимая нѣкоторыя опредѣленныя цѣны за единицу. Прибѣгать однако къ подобнымъ сравненіямъ слишкомъ затруднительно, да и мало практично, а потому поневолѣ приходится мириться съ значительными денежными затратами въ зависимости отъ большаго или меньшаго опыта и навыка проектирующаго лица. И опытъ и навыкъ всегда, конечно, оказываютъ крупную услугу, будучи весьма цѣнными въ ряду аналогичныхъ примѣровъ, но въ общемъ случаѣ они большею частью не достаточно надежны по той причинѣ, что основные профиля полотна насыпи и выемки, родъ грунта, типы искусственныхъ сооруженій, характеръ мѣстности и цѣны за единицу—элементы не постоянные, почему и не могутъ быть скомбинированы по извѣстному шаблону. Мало того: интересуясь одной лишь комбинацiей земляныхъ работъ въ случаѣ проектированія въ равнинной мѣстности полотна магистральной линіи съ общеизвѣстными типами поперечныхъ профилей—лишь весьма опытный спеціалистъ близко угадаетъ то положеніе проектной линіи, которое оказалось бы наиболѣе желательнымъ въ смыслѣ соотношенія кубатуръ насыпей и выемокъ.

Сущность метода, положеннаго въ основу рѣшенія указанныхъ выше задачъ, состоитъ въ слѣдующемъ: для всѣхъ элементовъ расцѣнки полотна дороги, непосредственно, зависящихъ отъ положенія проектной линіи, выводятся общія выраженія количествъ въ функціи отъ нѣкоторой неизвѣстной величины X, представляющей высоту перемѣщенія проектной линіи; имѣя подобныя выраженія поступаютъ въ дальнѣйшемъ сообразно одному изъ двухъ заданій, т. е.

1) если ищется транспортность земляныхъ работъ или иное ихъ соотношеніе, то приравнивая выраженія кубатуръ насыпей и выемокъ рѣшаютъ полученное уравненіе и такимъ образомъ находятъ искомое X;

2) если же является необходимость опредѣлить, при какомъ значеніи X наступаетъ minimum стоимости всѣхъ разсматриваемыхъ работъ, то помноживъ каждое изъ выраженій количествъ на стоимость одной единицы берутъ алгебраическую сумму всѣхъ полученныхъ выраженій, съ которой и поступаютъ по извѣстному правилу отысканія minimum'а. Въ обоихъ случаяхъ приходится пользоваться продольнымъ профилемъ въ томъ видѣ, въ какомъ онъ готовится въ настоящее время, т. е. предполагая, что земляное полотно такъ или иначе спроектировано, отвѣчая требованіямъ размѣщенія площадокъ и уклоновъ.

Методъ рѣшеній указываетъ при этомъ, что въ первомъ случаѣ необходимо имѣть кубатуры насыпей и выемокъ, исчисленныя при начальномъ положеніи проекта, во второмъ же, болѣе важномъ случаѣ, исчисленіе таковыхъ оказывается излишнимъ, какъ величинъ, являющихся въ выраженіяхъ независящими отъ X.

Хотя вышеупомянутыя выраженія количествъ составлены мною въ примѣненіи къ магистральному типу ж. дорогъ, но вообще могутъ быть использованы гораздо шире или въ силу полной независимости отъ типа полотна, или же благодаря незначительности вліянія, оказываемаго типомъ на выраженія означенныхъ количествъ. Впрочемъ въ исключительныхъ случаяхъ весьма легко составить аналогично выведеннымъ самостоятельныя выраженія.

Съ помощью составленныхъ формулъ и указываемыхъ своемѣстно способовъ обращенія съ ними самый расчетъ не представляетъ никакихъ затрудненій и можетъ быть легко выполняемъ средними техническими силами; крайне же незначительная затрата времени и расходовъ на необходимыя выкладки съ избыткомъ вознаграждается достигаемыми результатами.

Примѣняя найденныя формулы полезно помнить, что обыкновенно сумма minimum'овъ по отдѣльнымъ участкамъ меньше minimum'а по суммѣ участковъ, почему гораздо выгоднѣе производить расчеты не для всей линіи одновременно, а напримѣръ, по перегонамъ или еще болѣе мелкимъ частямъ; это тѣмъ болѣе раціонально, да и сплошь и рядомъ необходимо, ибо нѣкоторыя части проектной линіи по техническимъ условіямъ не могутъ быть перемѣщаемы въ извѣстномъ направленіи. Получаемые въ результатѣ расчета незначительные уступы проектной линіи легко устраняются возможнымъ соединеніемъ отдѣльныхъ частей и цѣлесообразнымъ ихъ выборомъ.

Что касается практическаго значенія предлагаемаго труда, то достаточно рѣшить одну изъ основныхъ задачъ на любомъ примѣрѣ, чтобы убѣдиться, какое серіезное значеніе имѣетъ правильное положеніе проектной линіи для уменьшенія расходовъ.

Разрѣшеніе одной изъ задачъ, напримѣръ, опредѣленіе транспортности земляныхъ работъ или minimum'а ихъ помимо

1) прямыхъ сбереженій;

2) даетъ экономію при распредѣленіи земляныхъ массъ;

3) исключаетъ часто совершенно излишнее искаженіе мѣстности одиночными работами;

4) совершенствуетъ въ навыкѣ правильной оцѣнки положенія проектной линіи

и 5) даетъ удовлетвореніе въ сознаніи добросовѣстно исполненной работы.

Говоря о выгодахъ отысканія транспортности или иной комбинаціи земляныхъ работъ слѣдуетъ имѣть въ виду то значеніе, какое приписывается въ настоящее время примѣненію теоріи наивыгоднѣйшаго распредѣленія земляныхъ массъ, разработанной трудами извѣстныхъ ученыхъ Брюкнера, Кульмана, Еикемейера, Бауернфрейнда, Винклера, Лаунгарда, и другихъ; самое выгодное разрѣшеніе вопроса о перемѣщеніи массъ можетъ быть обезцѣнено, если положеніе проектной линіи, т. е., самое основаніе для расчета перемѣщенія массъ,—экономически не раціонально; иллюстраціей къ этому можетъ служить примѣръ увлеченія наивыгоднѣйшей расцѣнкой нѣкоторой ж. дорожной линіи, когда самое направленіе таковой избрано въ коммерческомъ отношеніи неправильно.

Можно установить, такимъ образомъ, что отысканіе требуемаго положенія проектной линіи должно предшествовать расчету наивыгоднѣйшаго распредѣленія земляныхъ массъ.

Но исключительнымъ вниманіемъ къ землянымъ работамъ, конечно, далеко не достигается еще та колоссальная экономія, которая связана съ разрѣшеніемъ второй и самой существенной задачи—отысканіемъ minimum'а общей стоимости работъ.

Оцѣнивая выгодность расчета можно, не удаляясь отъ истины, полагать, что выгодность эта измѣряется сотнями, тысячами и десятками тысячъ рублей на версту въ зависимости отъ топографическихъ и прочихъ условій мѣстности, а также—отъ опытности проектирующаго лица.

Если изложенная мною теорія имѣетъ серіозное практическое значеніе даже при незначительной перепроектировкѣ линіи по окончаніи изысканій и наканунѣ постройки, то еще большее значеніе она должна имѣть при «основномъ проектированіи», подъ которымъ нужно понимать веденіе линіи начисто при изысканіяхъ, или предварительное проектированіе ея по плану въ горизонталяхъ и послѣдующую затѣмъ трассировку; въ обоихъ случаяхъ знакомство съ изложенными здѣсь теоретическими основаніями можетъ оказать значительную услугу.

Во всѣхъ случаяхъ, когда проектируется земляное полотно большой площади напримѣръ, для крѣпостныхъ сооруженій, станціонныхъ площадокъ, котлованов подъ крупныя сооруженія и пр., можно воспользоваться изложеннымъ въ концѣ настоящаго изслѣдованія точнымъ способомъ опредѣленія кубатуръ насыпей и выемокъ, а также способомъ проектированія ихъ въ желательномъ соотношеніи.

Вяч. Яцына.

I. ЗЕМЛЯНЫЯ РАБОТЫ.

Выводъ выраженій объемовъ въ функціи отъ (x).

1. Случай аналитическаго подсчета (по таблицамъ) полотна съ постояннымъ откосомъ на косогорахъ.

При любыхъ поперечныхъ профиляхъ земляного полотна, показанныхъ, н. п., на фиг. 1 и 2, или 2' объемъ земляного призматоида можетъ быть выраженъ слѣдующей формулой [1]):

$$V_n = \left[\frac{(h_1 + c_n)^2}{6} \cdot \varphi' + \frac{(h_2 + c_n)^2}{6} \cdot \varphi'' + \frac{(h_1 + h_2 + 2c_n)^2}{6} \cdot \varphi - \omega_n\right] \cdot L_n \quad \ldots \ldots \ldots (1)$$

для насыпи, и

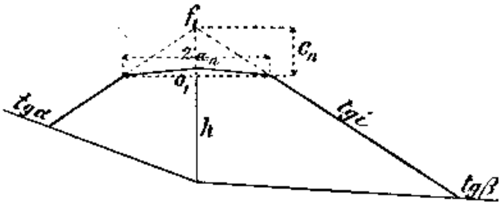
$$V_v = \left[\frac{(h_1 + c_v)^2}{6} \cdot f' + \frac{(h_2 + c_v)^2}{6} \cdot f'' + \frac{(h_1 + h_2 + 2c_v)^2}{6} \cdot f - \omega_v\right] \cdot L_v \quad \ldots \ldots \ldots (1')$$

для выемки.

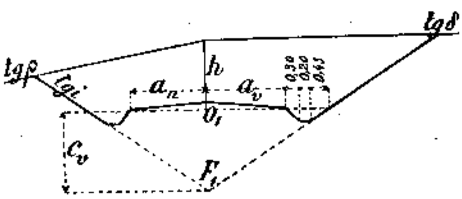
Въ этихъ формулахъ буквы имѣютъ слѣдующія значенія:

1) h_1, h_2—рабочія отмѣтки насыпи или выемки;

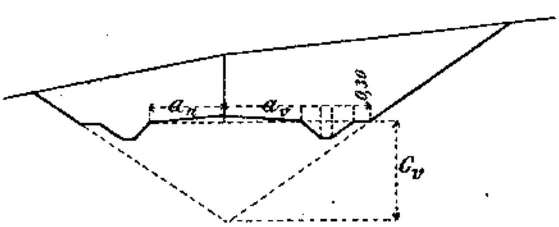
2) c_n и c_v — высоты отбрасываемыхъ треугольниковъ, т. е., o_1f_1 и O_1F_1 (фиг. 1 и 2);



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 2'.

[1]) См. «Новѣйшіе способы и таблицы для скораго и точнаго вычисленія объемовъ земляныхъ работъ при любыхъ—ширинѣ полотна, откосахъ и поперечныхъ склонахъ». Инж. Вяч. Яцына; изданіе К. Риккера, 1904 г.

3) φ', φ'' и f', f''—численные коэффиціенты, характеризующіе косогоръ у крайнихъ, ограничивающихъ призматоидъ, профилей, и равные соотвѣтственно:

$$\varphi' = \left[\frac{1}{2(\operatorname{tg} i + \operatorname{tg} \alpha_1)} + \frac{1}{2(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} \beta_1)}\right];$$

$$\varphi'' = \left[\frac{1}{2(\operatorname{tg} i + \operatorname{tg} \alpha_2)} + \frac{1}{2(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} \beta_2)}\right];$$

$$f' = \left[\frac{1}{2(\operatorname{tg} i + \operatorname{tg} \rho_1)} + \frac{1}{2(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} \delta_1)}\right] \text{ и}$$

$$f'' = \left[\frac{1}{2(\operatorname{tg} i + \operatorname{tg} \rho_2)} + \frac{1}{2(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} \delta_2)}\right], \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

гдѣ—$\operatorname{tg} i$ есть уклонъ откоса насыпи или выемки, а

$\operatorname{tg}\alpha_1$, $\operatorname{tg}\beta_1$ и т. п.—суть уклоны косогора отъ оси въ одну и другую стороны.

Коэффиціенты φ и f имѣютъ подобныя-же значенія, отнесенныя къ среднимъ профилямъ, т. е.:

$$\varphi = \left[\frac{1}{2(\operatorname{tg} i + \operatorname{tg} \alpha)} + \frac{1}{2(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} \beta)}\right] \text{ и}$$

$$f = \left[\frac{1}{2(\operatorname{tg} i + \operatorname{tg} \rho)} + \frac{1}{2(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} \delta)}\right],$$

при чемъ:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2}{2},$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2}{2} \text{ и т. д.}$$

4) ω_n — площадь, равная ($c_n \cdot a_n - s \cdot a_n$), гдѣ ($a_n$) есть полуширина полотна насыпи, и (s) — высота треугольника для стока воды; ω_v — подобная же площадь, равная ($a_v \cdot c_v + a_n s - 2k$), гдѣ a_v есть полуширина полотна выемки и k—площадь одного кювета; наконецъ,

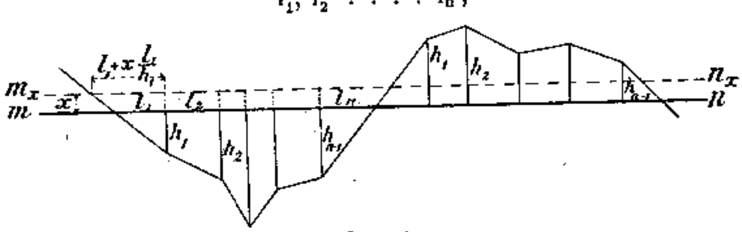
5) L_n и L_v — соотвѣтственныя длины призматоидовъ.

Объемъ цѣльной насыпи или выемки (фиг. 3) выразится, очевидно, суммой частичныхъ объемовъ при рабочихъ отмѣткахъ

$$o, h_1, h_2 \ldots\ldots h_{n-1} \text{ и}$$

соотвѣтственныхъ разстояніяхъ

$$l_1, l_2 \ldots\ldots l_n;$$



Фиг. 3.

крайніе объемы, при этомъ, потребуютъ тѣхъ же формулъ (1 и 1'), но съ замѣной въ нихъ величины одной изъ рабочихъ отмѣтокъ—нулемъ; такъ, н. п., первый крайній объемъ насыпи (фиг. 3) будетъ равенъ;

$$v_1 = \left[\frac{c_n^2}{6} \cdot \varphi' + \frac{(h_1 + c_n)^2}{6} \cdot \varphi'' + \frac{(h_1 + 2c_n)^2}{6} \cdot \varphi - \omega_n\right] \cdot l_1, \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

и т. д.

Если проектную линію (mn), (фиг. 3), поднять на нѣкоторую величину (x), то рабочія отмѣтки и разстоянія крайнихъ призматоидовъ, а съ этимъ вмѣстѣ и объемы насыпей и выемокъ измѣнятся; они могутъ быть представлены нѣкоторой функціей отъ (x), къ опредѣленію вида которой мы и перейдемъ.

a) Насыпь.

Любой промежуточный объемъ насыпи, н. п., $(v_2)^x$ при отмѣткахъ (h_1+x), (h_2+x) и неизмѣнившемся разстояніи (l_2), (фиг. 3), представится на основаніи формулы (1) слѣдующимъ выраженіемъ:

$$(v_2)^x = \left[\frac{(h_1+c_n+x)^2}{6}\cdot\varphi_2{}' + \frac{(h_2+x+c_n)^2}{6}\cdot\varphi_2{}'' + \right.$$

$$\left. + \frac{(h_1+h_2+2x+2c_n)^2}{6}\cdot\varphi_2 - \omega_n\right] l_2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

или

$$(v_2)^x = \left[\frac{(h_1+c_n)^2}{6}\cdot\varphi_2{}' + \frac{(h_2+c_n)^2}{6}\cdot\varphi_2{}'' + \frac{(h_1+h_2+2c_n)^2}{6}\cdot\varphi_2 + \frac{2x(h_1+c_n)}{6}\cdot\varphi_2{}' + \right.$$

$$\left. + \frac{2x(h_2+c_n)}{6}\cdot\varphi_2{}'' + \frac{4x(h_1+h_2+2c_n)}{6}\cdot\varphi_2 + \frac{x^2}{6}\cdot\varphi_2{}' + \frac{x^2}{6}\cdot\varphi_2{}'' + \frac{4x^2}{6}\cdot\varphi_2 - \omega_n\right] l_2;$$

собирая же члены у x и x^2 получимъ:

$$(v_2)^x = v_2 + \frac{2x}{6}\left[(h_1+c_n)\varphi_2{}' + (h_2+c_n)\varphi_2{}'' + 2\,(h_1+h_2+2c_n)\,\varphi_2\right].\,l_2 +$$

$$+ \frac{x^2}{6}\left[\varphi_2{}' + \varphi_2{}'' + 4\varphi_2\right] l_2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4')$$

гдѣ v_2—объемъ начальнаго [1]) призматоида; принимая во вниманіе, что на косогорахъ рабочія отмѣтки опредѣляются достаточно близко одна отъ другой, и кромѣ этого— приращеніе объема, выраженное вторымъ и третьимъ членомъ формулы (4'), лишь въ рѣдкихъ случаяхъ является значительнымъ,—можно положить

$$\varphi_2{}' = \varphi_2{}'' = \varphi_2;$$

тогда формула (4') приметъ видъ:

$$(v_2)^x = v_2 + x\,(h_1+h_2+2c_n)\,\varphi_2\,.\,l_2 + x^2\,.\,\varphi_2\,.\,l_2 \quad \ldots\ldots\ldots (4'')$$

Если же имѣть въ виду, что величина

$$(h_1+h_2+2c_n)\,.\,l_2$$

представляетъ удвоенную площадь трапеціи или сѣченія начальнаго призматоида въ плоскости чертежа, т. е.:

$$2\left[\frac{(h_1+c_n)+(h_2+c_n)}{2}\right].\,l_2 = 2p_2,$$

---

[1]) **Начальнымъ** будемъ называть всякій призматоидъ, взятый при начальномъ положеніи проектной линіи, т. е., при неизмѣненныхъ отмѣткахъ (h_1+c_n) и (h_2+c_n).

то формулу ($4''$) можно окончательно видоизмѣнить такъ:

$$(v_2)^x = v_2 + 2xp_2\varphi_2 + x^2 l_2\varphi_2 \quad \ldots\ldots\ldots (4 \text{ bis}).$$

Крайній объемъ, н. п., $(v_1)^x$ опредѣлится при отмѣткахъ

$$0 \text{ и } (h_1 + x)$$

и разстояніи

$$l_1^x = l_1 + l_1 \frac{x}{h_1},$$

которое находится изъ соотношенія (фиг. 3):

$$\frac{l_1^x - l_1}{l_1} = \frac{x}{h_1}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

такъ:

$$(v_1)^x = \left[\frac{c_n^2}{6}\cdot\varphi_1' + \frac{(h_1 + x + c_n)^2}{6}\cdot\varphi_1'' + \frac{(h_1 + x + 2c_n)^2}{6}\cdot\varphi_1 - \omega_n\right]\left(l_1 + l_1\frac{x}{h_1}\right),$$

или

$$(v_1)^x = \left[\frac{c_n^2}{6}\varphi_1' + \frac{(h_1 + c_n)^2}{6}\cdot\varphi_1'' + \frac{(h_1 + 2c_n)^2}{6}\cdot\varphi_1 - \omega_n\right]\left(l_1 + l_1\frac{x}{h_1}\right) +$$

$$+ \left[2x\frac{(h_1 + c_n)}{6}\cdot\varphi_1'' + 2x\frac{(h_1 + 2c_n)}{6}\cdot\varphi_1 + \frac{2x^2}{6}\cdot\varphi_1\right]\left(l_1 + l_1\frac{x}{h_1}\right);$$

производя дальнѣйшія преобразованія, получимъ:

$$(v_1)^x = \left(v_1 + v_1\frac{x}{h_1}\right) + \left[\frac{2x}{6}(2h_1 + 3c_n)\varphi_1 + \frac{2x^2}{6}\cdot\varphi_1\right]\left(l_1 + l_1\frac{x}{h_1}\right) =$$

$$= \left(v_1 + v_1\frac{x}{h_1}\right) + \left[\frac{2x}{6}\cdot\frac{3}{2}(h_1 + 2c_n)\varphi_1 + \frac{2x}{6}\cdot\frac{1}{2}\cdot h_1\cdot\varphi_1 + \frac{2x^2}{6}\cdot\varphi_1\right]\left(l_1 + l_1\frac{x}{h_1}\right),$$

или:

$$(v_1)^x = v_1 + x\left[p_1\cdot\varphi_1 + \frac{v_1}{h_1} + \frac{1}{6}(h_1 l_1)\varphi_1\right] + x^2\left[\frac{1}{2}l_1\cdot\varphi_1 + \frac{p_1}{h_1}\varphi_1\right] + \frac{1}{3}x^3\frac{l_1}{h_1}\varphi_1 \ldots (6)$$

гдѣ p_1—площадь сѣченія крайняго начальнаго призматоида въ плоскости чертежа, т. е.,

$$p_1 = \frac{[c_n + (h_1 + c_n)]}{2}\cdot l_1.$$

Сравнивая (6) съ (4 bis) легко видѣть, что въ выраженіи (6):

1) площадь p_1 берется одиночной, а не удвоенной, какъ въ (4 bis);

2) разстояніе l_1 при x^3 — тоже не полное, а вдвое меньше, чѣмъ при x^2 въ (4 bis), и

3) имѣются нѣкоторые дополнительные члены.

Другой крайній объемъ $(v_n)^x$ можетъ быть выраженъ совершенно аналогично:

$$(v_n)^x = v_n + x\left[p_n\cdot\varphi_n + \frac{v_n}{h_{n-1}} + \frac{1}{6}(h_{n-1}\cdot l_n)\varphi_n\right] + x^2\left[\frac{1}{2}l_n\varphi_n + \frac{p_n}{h_{n-1}}\varphi_n\right] +$$

$$+ \frac{1}{3}x^3\frac{l_n}{h_{n-1}}\cdot\varphi_n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6').$$

Найдя выраженія всѣхъ частныхъ объемовъ

$$(v_1)^x, (v_2)^x \ldots\ldots (v_n)^x$$

и просуммировавъ ихъ получимъ объемъ всей насыпи въ функціи (x), т. е.:

$$(V_n)^x = V_n + x\left[2\Sigma(p_s \cdot \varphi_s) + \Sigma(p_k \cdot \varphi_k) + \Sigma\left(\frac{v_k}{h_k}\right) + \frac{1}{6}\Sigma(h_k\, l_k\, \varphi_k)\right] +$$
$$+ x^2\left[\Sigma(l_s \cdot \varphi_s) + \frac{1}{2}\Sigma(l_k\,\varphi_k) + \Sigma\left(\frac{p_k}{h_k}\,\varphi_k\right)\right] + \frac{1}{3}x^3\Sigma\left(\frac{l_k}{h_k}\,\varphi_k\right) \quad \ldots (7')$$

гдѣ индексъ (s) обозначаетъ любой промежуточный или средній элементъ, а (k) — элементъ крайній.

Найденная формула можетъ быть значительно упрощена; въ самомъ дѣлѣ: объемъ крайняго призматоида (v_k) выражается формулой

$$v_k = \left[\frac{(h_k + c_n)^2}{6}\cdot\varphi_k + \frac{(c_n)^2}{6}\cdot\varphi_k + \frac{(h_k + 2c_n)^2}{6}\varphi_k - \omega_n\right] l_k,$$

или

$$v_k = \left[\frac{h_k^{\,2}}{6}\varphi_k + \frac{2h_k\,c_n\,\varphi_k}{6} + \frac{c_n^{\,2}\varphi_k}{6} + \frac{c_n^{\,2}\varphi_k}{6} + \frac{h_k^{\,2}\varphi_k}{6} + \frac{4h_k\,c_n\,\varphi_k}{6} + \frac{4c_n^{\,2}\cdot\varphi_k}{6} - \omega_n\right] l_k =$$
$$= \left[\frac{h_k^{\,2}\cdot\varphi_k}{3} + h_k\cdot c_n\cdot\varphi_k + c_n^{\,2}\varphi_k - \omega_n\right] l_k,$$

а, слѣдовательно, $\dfrac{v_k}{h_k} = \left[\dfrac{h_k\cdot\varphi_k}{3} + c_n\,\varphi_k + \dfrac{c_n^{\,2}\varphi_k - \omega_n}{h_k}\right] l_k \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (7a')$

и $\dfrac{v_k}{h_k} + \dfrac{1}{6}(h_k\, l_k\, \varphi_k) = \dfrac{h_k\,\varphi_k\, l_k}{2} + c_n\,\varphi_k\, l_k + \dfrac{(c_n^{\,2}\varphi_k - \omega_n)}{h_k}\cdot l_k \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (7a).$

Далѣе, замѣтимъ, что сумма

$$2\Sigma(p_s\cdot\varphi_s) + \Sigma(p_k\cdot\varphi_k)$$

можетъ быть взята въ другомъ видѣ, т. е.:

$$2\Sigma(p_s\cdot\varphi_s) + \Sigma(p_k\cdot\varphi_k) = 2\Sigma p\cdot\varphi - \Sigma(p_k\cdot\varphi_k),$$

гдѣ членъ $2\Sigma p\cdot\varphi = 2\Sigma p_s\cdot\varphi_s + 2\Sigma p_k\,\varphi_k$,

включая, такимъ образомъ и среднія и крайнія площади съ однимъ и тѣмъ же коэффиціентомъ 2.

Величина

$$p_k\,\varphi_k = \frac{(h_k + c_n + c_n)}{2}\varphi_k\, l_k = \frac{h_k\,\varphi_k\, l_k}{2} + c_n\,\varphi_k\, l_k, \quad \ldots \ldots (7b)$$

поэтому сумма

$$\frac{v_k}{h_k} + \frac{1}{6}h_k\, l_k\, \varphi_k - p_k\,\varphi_k$$

на основаніи равенствъ (a) и (b) будетъ равна:

$$\frac{v_k}{h_k} + \frac{1}{6}h_k\, l_k\,\varphi_k - p_k\,\varphi_k = \frac{h_k\,\varphi_k\, l_k}{2} + c_n\,\varphi_k\, l_k + \frac{(c_n^{\,2}\varphi_k - \omega_n)\, l_k}{h_k} - \frac{h_k\,\varphi_k\, l_k}{2} - c_n\,\varphi_k\, l_k =$$
$$= \frac{(c_n^{\,2}\varphi_k - \omega_n)}{h_k} l_k \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (7c).$$

Такимъ образомъ коэффиціентъ при x въ формулѣ (7′) будетъ равенъ:

$$2\Sigma p_s\cdot\varphi_s + \Sigma p_k\cdot\varphi_k + \Sigma\frac{v_k}{h_k} + \frac{1}{6}\Sigma h_k\, l_k\,\varphi_k = 2\Sigma p\cdot\varphi + \frac{(c_n^{\,2}\varphi_k - \omega_n)}{h_k} l_k \quad \ldots \ldots (7d).$$

Коэффиціентъ при x^2 можетъ быть также преобразованъ, а именно:

$$\Sigma l_s \cdot \varphi_s + \frac{1}{2}\Sigma l_k \cdot \varphi_k = \Sigma l \cdot \varphi - \frac{1}{2}\Sigma l_k \varphi_k ,$$

гдѣ Σl есть общее протяженіе и среднихъ и крайнихъ элементовъ.

Величина

$$\frac{p_k \cdot \varphi_k}{h_k} = \left[\frac{h_k \varphi_k l_k}{2} + c_n \varphi_k l_k\right] \cdot \frac{1}{h_k} = \frac{\varphi_k l_k}{2} + \frac{c_n \varphi_k l_k}{h_k},$$

а слѣдовательно,

$$\frac{p_k \varphi_k}{h_k} - \frac{1}{2} l_k \varphi_k = \frac{\varphi_k l_k}{2} + \frac{c_n \varphi_k l_k}{h_k} - \frac{\varphi_k l_k}{2} = \frac{c_n \varphi_k l_k}{h_k};$$

подставляя найденныя величины въ коэффиціентъ при x^2, найдемъ его равнымъ:

$$\Sigma l_s \cdot \varphi_s + \frac{1}{2}\Sigma l_k \varphi_k + \Sigma \frac{p_k \varphi_k}{h_k} = \Sigma l \cdot \varphi + \frac{c_n \varphi_k \cdot l_k}{h_k} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (7e).$$

На основаніи выраженій (d) и (e) найдемъ слѣдующій окончательный видъ формулы (7'):

$$V_n^x = V_n + \left[2\Sigma p \cdot \varphi + \Sigma (c_n{}^2 \varphi_k - \omega_n) \frac{l_k}{h_k}\right] x + \left[\Sigma l \cdot \varphi + \Sigma c_n \varphi_k \cdot \frac{l_k}{h_k}\right] x^2 +$$
$$+ \left(\Sigma \frac{1}{3} \varphi_k \frac{l_k}{h_k}\right) x^3 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (7)$$

b) Выемка.

Путемъ совершенно аналогичной послѣдовательности выкладокъ найдемъ, что выраженіе выемки представится формулой:

$$(V_v)^x = V_v - x\left[2\Sigma (p_s \cdot f_s) + \Sigma (p_k \cdot f_k) + \Sigma \left(\frac{v_k}{h_k}\right) + \frac{1}{6}\Sigma (h_k l_k f_k)\right] +$$
$$+ x^2\left[\Sigma (l_s \cdot f_s) + \frac{1}{2}\Sigma (l_k f_k) + \Sigma \left(\frac{p_k}{h_k} f_k\right)\right] - \frac{1}{3} x^3 \Sigma \left(\frac{l_k}{h_k} f_k\right) \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (8').$$

или, въ болѣе простомъ и окончательномъ видѣ:

$$V_v{}^x = V_v - \left[2\Sigma p \cdot f + \Sigma (c_v{}^2 f_k - \omega_v) \frac{l_k}{h_k}\right] x + \left[\Sigma l \cdot f + \Sigma c_v \cdot f_k \cdot \frac{l_k}{h_k}\right] x^2 -$$
$$- \left(\Sigma \frac{1}{3} f_k \frac{l_k}{h_k}\right) x^3 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (8).$$

При обращеніи съ формулами (7) и (8) слѣдуетъ помнить, что:

1) V_n и V_v — суть дѣйствительные объемы, подсчитанные согласно начальному положенію проектной линіи (mn) при данныхъ крайнихъ и среднихъ уклонахъ косогора каждаго призматоида;

2) φ_k, φ, f_k и f — коэффиціенты, опредѣленные для среднихъ уклоновъ косогора каждаго призматоида, и

3) p — площади трапецій въ плоскости чертежа съ основаніями, включающими величину c_n и c_v.

Въ цитированномъ выше (см. стр. 1) трудѣ предложенъ аналитическій способъ расчета объемовъ земляныхъ работъ, при которомъ требуется выписка—въ вѣдомость попикетнаго исчисленія—кромѣ рабочихъ отмѣтокъ (h) и разстояній (l) еще—величинъ уклоновъ косогоровъ [1]) и значеній

$$(h_1+c),\ (h_2+c)\ \text{и}\ (h_1+h_2+2c);$$

поэтому, пользуясь вѣдомостью, не трудно вычислять какъ (p) такъ и другія величины, входящія въ формулы (7) и (8).

Выведенныя формулы справедливы для цѣлаго ряда насыпей и выемокъ, если распространить на него значеніе индекса (k), а также разумѣть подъ свободнымъ членомъ—общій объемъ насыпи или выемки.

c) Случай ровной мѣстности.

Если мѣстность не имѣетъ косогоровъ, то нужно положить

$$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\rho = \operatorname{tg}\delta$$

а слѣдовательно, $\varphi = \varphi_k = \gamma_n$

$$\text{и}\ f = f_k = \gamma_v\ ,$$

и формулы (7) и (8) примутъ видъ

$$(V_n)^x = V_n + \left[2\gamma_n \Sigma p + \Sigma\,(c_n{}^2\gamma_n - \omega_n)\frac{l_k}{h_k}\right]x + \left[\gamma_n \Sigma l + \Sigma c_n \gamma_n \frac{l_k}{h_k}\right]x^2 + \\ + \Sigma\left(\frac{1}{3}\gamma_n \frac{l_k}{h_k}\right)x^3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7A),$$

$$\text{и}\ (V_v)^x = V_v - \left[2\gamma_v \Sigma p + \Sigma\,(c_v{}^2\gamma_v - \omega_v)\frac{l_k}{h_k}\right]x + \left[\gamma_v \Sigma l + \Sigma c_v \gamma_v \frac{l_k}{h_k}\right]x^2 - \\ - \Sigma\left(\frac{1}{3}\gamma_v \frac{l_k}{h_k}\right)x^3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8A).$$

Значеніе коэффиціента γ характеризуется численной величиной откоса, какъ въ этомъ можно убѣдиться изъ формулы (2); дѣйствительно:

при $\operatorname{tg} i = {}^2/_3$, или откосахъ $1:1^1/_2 \ \ldots \ \gamma = 1^1/_2$;
» » $= {}^4/_5$, » » $1:1^1/_4 \ \ldots \ \gamma = 1^1/_4$;

и т. д.;

$$\text{поэтому}\ c_n{}^2\gamma_n - \omega_n = c_n{}^2\gamma_n - [c_n{}^2\gamma_n - sa_n\,]^{2)} = sa_n\ ,$$

$$\text{и}\ c_n\,\gamma_n = a_n\ ;$$

равнымъ образомъ для выемокъ:

$$c_v{}^2\gamma_v - \omega_v = c_v{}^2\gamma_v - [c_v{}^2\gamma_v + sa_n - 2k]\ {}^{3)} = (2k - sa_n),$$

$$\text{и}\ c_v\gamma_v = a_v\,.$$

---

[1]) Коэффиціенты косогоровъ даются также въ особой таблицѣ указаннаго труда.

[2]) (sa_n) есть площадь треугольника для стока воды; см. выше обозначенія s, a_n, ω_n и т. п.

[3]) 2k — площадь двухъ кюветовъ.

Для нормальныхъ профилей магистральнаго типа (фиг. 1 и 2') будемъ имѣть слѣдующія численныя значенія:

$$\gamma_n = \gamma_v = 1^1/_2;\ a_n = \frac{2{,}60}{2} = 1{,}30 \text{ с.};\ a_v = \frac{5{,}10}{2} = 2{,}55 \text{ с.};$$

$$sa_n = 0{,}078 \text{ кв. с.}; 2k = 0{,}345 \text{ кв. с. и } 2k - sa_n = 0{,}267 \text{ кв. с.};$$

поэтому формулы 7А и 8А для даннаго случая примутъ слѣдующій простой видъ:

$$V_n{}^x = V_n + \left[3\Sigma p + 0{,}078\Sigma\frac{l_k}{h_k}\right]x + \left[1{,}50\Sigma l + 1{,}30\Sigma\frac{l_k}{h_k}\right]x^2 + 0{,}50\Sigma\frac{l_k}{h_k}x^3 \ . \ (7 \text{ bis})$$

$$\text{и } V_v{}^x = V_v - \left[3\Sigma p + 0{,}267\Sigma\frac{l_k}{h_k}\right]x + \left[150\Sigma l + 2{,}55\Sigma\frac{l_k}{h_k}\right]x^2 - 0{,}50\Sigma\frac{l_k}{h_k}x^3 \ . \ (8 \text{ bis}).$$

Съ помощью таблицъ, о которыхъ будетъ сказано далѣе, вычисленіе коэффиціентовъ при степеняхъ x крайне просто, при чемъ для опредѣленія площадей можетъ быть примѣненъ съ большимъ удобствомъ планиметръ; для этого площадь p_n или p_v разбивается слѣдующимъ образомъ:

$$p_n = \frac{(h_1 + c_n) + (h_2 + c_n)}{2}.l_n = \frac{(h_1 + h_2)}{2}l_n + c_n l_n = \frac{(h_1 + h_2)}{2}l_n + 0{,}867 l_n$$

$$\text{и } 3\Sigma p_n = 3\Sigma\frac{(h_n + h_{n+1})}{2}l_n + 2{,}60\Sigma l_n = 3\Sigma q_n + 2{,}60\Sigma l_n;$$

$$\text{точно также } p_v = \frac{(h_1 + h_2)}{2}l_v + 1{,}70\, l_v$$

$$\text{и } 3\Sigma p_v = 3\Sigma q_v + 5{,}10\Sigma l_v.$$

---

2. Случай полотна съ перемѣннымъ откосомъ.

а) Насыпь.

Согласно постановленію Инженернаго Совѣта нормальный откосъ насыпи до 3 саж. высоты опредѣляется въ $1^1/_2$ основанія на единицу высоты; при отмѣткахъ же бо̀льшихъ 3 саж. заложеніе основанія увеличивается на 0,25 с., т. е. принимается откосъ въ 1,75 основанія на единицу высоты (фиг. 4).

При подсчетѣ объемовъ земляныхъ работъ насыпь подраздѣляется [1]) на участки съ отмѣтками менѣе и болѣе 3 саж., что отмѣчается въ вѣдомости. Объемъ насыпи высотою > 3 саж. выражается, подобно формулѣ (1) слѣдующимъ образомъ:

$$V_н = \left[\frac{(H_1 - 3 + c_к)^2}{6}.F_1{}' + \frac{(H_2 - 3 + c_к)^2}{6}.F_1{}'' + \frac{[(H_1 - 3) + (H_2 - 3) + 2c_к]^2}{6}.F_1 - \omega_к\right].L.; \ldots\ldots (9).$$

Здѣсь:

$c_к$ — есть высота Δ-ка cnf, или величина mn (фиг. 4);

---

[1]) См. выноску на стр. 1.

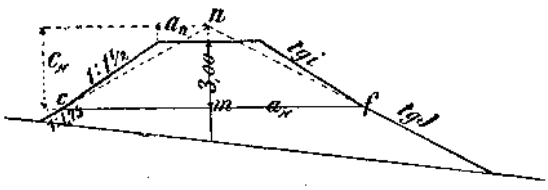
F_1', F_1'' и F_1 — коэффиціенты, зависящіе отъ поперечныхъ склоновъ и откоса (tgJ);

$\omega_к$ — постоянная площадь, равная суммѣ;

$\omega_к = a_к\, c_к - 3\,(a_к + a_n) - s a_n$,

гдѣ s и a_n имѣютъ прежнія значенія, а

$a_к$ — есть полуширина mf (фиг. 4).



Фиг. 4.

Пусть по линіи mn (фиг. 5) спроектирована нѣкоторая насыпь; объемъ ея можетъ быть подраздѣленъ на участки

mM, Nn съ отмѣтками $\leqq$ 3 саж., и

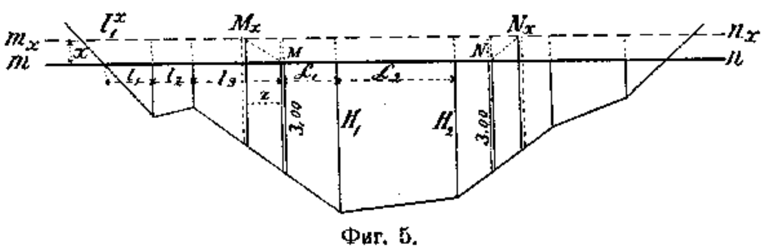
MN » » $>$ 3 саж.

Примѣняя къ нимъ соотвѣтственно (1) и (9) формулы замѣтимъ, что соприкасающіеся у отмѣтки 3 саж. объемы сосѣднихъ участковъ, н. п., первые два напишутся такъ:

$$v_3 = \left[\frac{(h_2 + c_n)^2}{6}\cdot\varphi_3' + \frac{(3 + c_n)^2}{6}\cdot\varphi_3'' + \frac{(h_2 + 3 + 2c_n)^2}{6}\cdot\varphi_3 - \omega_n\right].l_3\,.\ (10)$$

и

$$w_1 = \left[\frac{(c_к)^2}{6}\cdot F_1' + \frac{(H_1 - 3 + c_к)^2}{6}.F_1'' + \frac{(H_1 - 3 + 2c_к)^2}{6}\cdot F_1 - \omega_к\right].L_1\ (11).$$



Фиг. 5.

Съ перемѣщеніемъ проектной линіи (mn) въ положеніе ($m_x n_x$), рабочія отмѣтки увеличатся на величину (x), и границы участка MN раздвинутся до $M_x N_x$.

Промежуточный объемъ этого участка, н. п., $(w_2)^x$ при отмѣткахъ $(H_1 + x)$ и $(H_2 + x)$, и разстояніи L_2 можетъ быть выраженъ слѣдующимъ образомъ:

$$(w_2)^x = \left[\frac{(H_1 - 3 + c_к + x)^2}{6}\cdot F_2' + \frac{(H_2 - 3 + c_к + x)^2}{6}.F_2'' + \right.$$

$$\left. + \frac{[(H_1 - 3) + (H_2 - 3) + 2c_к + 2x]^2}{6}\cdot F_2 - \omega_к\right]\ L_2, \ldots\ldots (12)$$

или

$$(w_2)^x = \left[\frac{(H_1-3+c_N)^2}{6}\cdot F_2' + \frac{(H_2-3+c_N)^2}{6}\cdot F_2'' + \frac{(H_1+H_2-6+2c_N)^2}{6} F_2 - \omega_N\right] L_2 +$$
$$+ \frac{2x}{6}\left[(H_1-3+c_N)F_2 + (H_2-3+c_N)F_2 + 2(H_1+H_2-6+2c_N)F_2\right] L_2\ ^{1)} +$$
$$+ \frac{x^2}{6}(F_2+F_2+4F_2)\,L_2;$$

вынося въ послѣднихъ членахъ F_2 за скобки, и замѣчая, что первый членъ представляетъ объемъ (w_2), опредѣляемый при подсчетахъ ранѣе, получимъ:

$$(w_2)^x = w_2 + \frac{2x}{6}\left[3(H_1-3+c_N) + 3(H_2-3+c_N)\right] F_2 . L_2 + x^2 . F_2 . L_2;$$

но $3\ (H_1-3+c_N)+(H_2-3+c_N)\ L_2 = 6P_2$, гдѣ P_2 — есть площадь трапеціи въ плоскости чертежа и имѣетъ значеніе аналогичное p_2 (см. формулу 4 bis), слѣдовательно

$$(w_2)^x = w_2 + 2xF_2P_2 + x^2F_2L_2 \quad \dots\dots\dots\dots \quad (13).$$

Чтобы найти теперь выраженіе для объема крайняго, н. п., $(w_1)^x$, примемъ во вниманіе, что разстояніе (L_1) съ повышеніемъ проектной линіи получитъ нѣкоторое приращеніе (z) (фиг. 5); величину его найдемъ изъ соотношенія:

$$\frac{z}{x} = \frac{L_1}{H_1-3},$$

$$\text{откуда}\ \ z = \frac{L_1}{(H_1-3)}\cdot x,$$

$$\text{и}\ L_1 + z = L_1 + L_1 . \frac{x}{(H_1-3)}, \quad \dots\dots\dots\dots \quad (14),$$

что аналогично формулѣ (5).

Объемъ $(w_1)^x$ представится слѣдующимъ выраженіемъ:

$$(w_1)^x = \left[\frac{(c_N)^2}{6}\cdot F_1' + \frac{(H_1-3+c_N)^2}{6}\cdot F_1'' + \frac{(H_1-3+2c_N)^2}{6}\cdot F_1 - \omega_N\right]\left(L_1 + L_1\frac{x}{(H_1-3)}\right) +$$
$$+ \frac{2x}{6}\left[(H_1-3+c_N)F_1 + (H_1-3+2c_N)F_1\right]\left(L_1 + L_1\frac{x}{(H_1-3)}\right) +$$
$$\frac{x^2}{6}\left(2F_1\right)\left(L_1 + L_1\frac{x}{H_1-3}\right);$$

производя дальнѣйшее преобразованіе, и имѣя въ виду формулу (11), найдемъ:

$$(w_1)^x = w_1 + w_1 . \frac{x}{(H_1-3)} + \frac{2x}{6}\left[2(H_1-3) + 3c_N\right] F_1 . L_1\left(1 + \frac{x}{(H_1-3)}\right) +$$
$$+ \frac{2x^2}{6} F_1 L_1\left(1 + \frac{x}{(H_1-3)}\right);$$

[1]) Относительно коэффиціентовъ F принимаемъ условіе постоянства ихъ въ членахъ, содержащихъ x, о чемъ говорилось уже выше.

$$\text{но } [2(H_1-3)+3c_N]L_1=\left[\frac{3}{2}(H_1-3+2c_N)+\frac{1}{2}(H_1-3)\right]L_1,$$

или равно $3P_1+\frac{1}{2}(H_1-3)L_1$, слѣдовательно,

$$(w_1)^x=w_1+w_1\frac{x}{(H_1-3)}+xP_1F_1+x^2\frac{P_1F_1}{(H_1-3)}+\frac{1}{6}x(H_1-3)F_1L_1+\frac{1}{6}\ x^2\ F_1\ L_1+$$
$$+\frac{2}{6}x^2F_1L_1+\frac{1}{3}x^3\frac{F_1L_1}{(H_1-3)};$$

собирая члены при степеняхъ (x) получимъ выраженіе:

$$(w_1)^x=w_1+x\left\{\frac{w_1}{(H_1-3)}+P_1F_1+\frac{1}{6}\ [(H_1-3)\ F_1L_1]\right\}+x^2\left[\frac{1}{2}F_1L_1+\frac{P_1F_1}{H_1-3}\right]+$$
$$+\frac{1}{3}x^3\left(\frac{L_1F_1}{(H_1-3)}\right),\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (15),$$

совершенно подобное выраженію (6).

Составить общее выраженіе на основаніи полученныхъ до сего формулъ (7), (13) и (15) еще нельзя, такъ какъ на участкахъ mM или Nn слѣдуетъ разсмотрѣть смежные съ MN объемы, напр., объемъ (v_3), для котораго приведено выше значеніе (10).

Какъ обнаруживается на фиг. 5, разстояніе l_3 съ повышеніемъ проектной линіи уменьшается на величину (z), опредѣляясь равенствомъ:

$$l_3-z=l_3-\frac{L_1}{(H_1-3)}x=l_3-l_3\cdot\frac{x}{(3-h_2)}\ ;\ \ldots\ldots\ldots\ (16),$$

при этомъ рабочими отмѣтками являются величины (h_2+x) и 3,00.

На основаніи этихъ данныхъ объемъ $(v_3)^x$ можетъ быть представленъ слѣдующимъ выраженіемъ:

$$(v_3)^x=\left[\frac{(h_2+x+c_n)^2}{6}\varphi_3'+\frac{(3+c_n)^2}{6}\varphi_3''+\frac{(h_2+3+2c_n+x)^2}{6}\varphi_3-\omega_n\right]\cdot\left[l_3-l_3\frac{x}{(3-h_2)}\right]=$$
$$=v_3+x\left\{p_3\cdot\varphi_3-\frac{v_3}{(3-h_2)}-\frac{1}{6}[(3-h_2)\,l_3\varphi_3]\right\}+x^2\left[\frac{1}{2}\,l_3\varphi_3-\frac{p_3\varphi_3}{(3-h_2)}\right]-$$
$$-\frac{1}{3}x^3\frac{l_3\varphi_3}{(3-h_2)}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (17),$$

гдѣ, подобно предыдущему выводу, положено,
что

$$\frac{(h_2+2c_n+3)\,l_3}{2}=p_3.$$

Выпишемъ здѣсь для наглядности полученныя выше формулы (7), (13) и (15):

$$(V_n)^x=V_n+x\ \left[2\Sigma p_s\varphi_s+\Sigma p_k\varphi_k+\Sigma\frac{v_k}{h_k}+\frac{1}{6}\Sigma(h_k l_k\varphi_k)\right]+x^2\left[\Sigma l_s\varphi_s+\frac{1}{2}\Sigma l_k\varphi_k+\right.$$
$$\left.+\ \Sigma\frac{p_k}{h_k}\varphi_k\right]+\frac{1}{3}\ x^3\ \Sigma\frac{l_k}{h_k}\varphi_k\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (7').$$

$$(w_2)^x=w_2+2xF_2P_2+x^2F_2L_2\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (13),$$

$$(w_1)^x = w_1 + x\left\{\frac{w_1}{H_1-3} + P_1F_1 + \frac{1}{6}[(H_1-3)L_1F_1]\right\} + x^2\left[\frac{1}{2}F_1L_1 + \frac{P_1F_1}{(H_1-3)}\right] + \\ + \frac{1}{3}x^3\frac{L_1F_1}{(H_1-3)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15).$$

Соединяя формулы (17), (7), (13) и (15), опредѣляющія собою данныя общаго выраженія объема насыпи перемѣннаго откоса, замѣчаемъ, что для полученія этого общаго выраженія слѣдуетъ взять:

1) истинный объемъ насыпи при положеніи проекта (mn), т. е.,

$$v_1 + v_2 + \ldots + v_n + w_1 + w_2 + \ldots + w_n = W_x,$$

что представляетъ собою свободный членъ выраженія;

2) удвоенную сумму площадей трапецій p и P всѣхъ среднихъ элементовъ съ ихъ коэффиціентами косогоровъ, т. е.,

$$2\Sigma p_s\varphi_s + 2\Sigma P_sF_s;$$

3) одиночную сумму такихъ же площадей, но всѣхъ крайнихъ элементовъ съ ихъ коэффиціентами, т. е.:

$$\Sigma p'_k\varphi_k + \Sigma P_kF_k$$ [1]),

не забывая при этомъ, что крайними элементами въ данномъ случаѣ будутъ всѣ, находящіеся по концамъ участковъ, напр. — v_1, v_3, w_1 ... съ разстояніями l_1, l_3, L_1 ... (фиг. 5),

4) сумму

$$\Sigma\frac{v_k}{h_k} + \Sigma\frac{v_k}{(h_k-3)} + \Sigma\frac{w_k}{H_k-3},$$

или сокращенно $\Sigma\frac{v_k}{h'_k} + \Sigma\frac{w_k}{H_k-3}$;

5) сумму

$$\frac{1}{6}\Sigma h_k l_k\varphi_k + \frac{1}{6}\Sigma(h_k-3)l_k\varphi_k + \frac{1}{6}\Sigma(H_k-3)F_kL_k = \frac{1}{6}\Sigma h'_k l_k\varphi_k + \frac{1}{6}\Sigma(H_k-3)F_kL_k;$$

перечисленныя суммы 2), 3), 4) и 5) въ совокупности дадутъ множитель при (x).

Далѣе, множитель при x^2 составится изъ слѣдующихъ членовъ:

1) сумма разстояній l и L всѣхъ среднихъ элементовъ съ ихъ коэффиціентами, т. е.:

$$\Sigma l_s\varphi_s + \Sigma L_sF_s;$$

2) полусуммы такихъ же разстояній, но крайнихъ элементовъ:

$$\frac{1}{2}\Sigma l'_k\varphi_k$$ [2]) $$+\frac{1}{2}\Sigma L_kF_k;$$

3) суммы $\Sigma\frac{p_k}{h_k}\varphi_k + \Sigma\frac{p_k}{h_k-3}\varphi_k + \Sigma\frac{P_kF_k}{H_k-3}$ или сокращеннѣе:

$$\Sigma\frac{p'_k\varphi_k}{h'_k} + \Sigma\frac{P_kF_k}{H_k-3}.$$

---

[1]) Членъ $\Sigma p'_k\varphi_k$ отмѣчаемъ значкомъ надъ p_k, чтобы помнить, что членъ этотъ заключаетъ оба крайнихъ элемента участка mM или Nn.

[2]) См. выше выноску къ члену $\Sigma p'_k\varphi_k$.

Что касается множителя при x^3, то замѣтимъ слѣдующее: въ величинахъ

$$-\frac{1}{3}x^3\frac{l_3}{(3-h_2)}\cdot\varphi_3 \text{, (формулы 17),}$$

$$\text{и } \frac{1}{3}x^3\frac{L_1}{(H_1-3)}.F_1 \text{, (формулы 15)}$$

коэффиціенты φ и F_1 можно принять равными, благодаря, во первыхъ, смежности элементовъ v_3 и w_1, а, во вторыхъ,—въ силу той незначительной роли, какую вообще имѣетъ въ выраженіяхъ членъ, содержащій x^3.

Съ другой стороны, на основаніи равенства (16)

$$\frac{L_1}{H_1-3}=\frac{l_3}{3-h_2},$$

а слѣдовательно, всякая, подобная данной ниже, сумма равна нулю, т. е.:

$$\frac{1}{3}\left(\frac{L_1}{H_1-3}\cdot F_1\right)-\frac{1}{3}\frac{l_3}{(3-h_2)}\varphi_3=0,$$

и множителемъ при x^3 останется членъ

$$\frac{1}{3}\Sigma\frac{l_k}{h_k}\varphi_k.$$

Такимъ образомъ **общее выраженіе объема одной или нѣсколькихъ насыпей** напишется слѣдующей формулой:

$$(W_s)^x=W_x+x\Big\{2\Sigma p_s\varphi_s+2\Sigma P_sF_s)+(\Sigma p'_k\varphi_k+\Sigma P_kF_k)+\left(\Sigma\frac{v_k}{h'_k}+\Sigma\frac{W_k}{(H_k-3)}\right)+$$
$$+\left[\frac{1}{6}\Sigma h'_k l_k\varphi_k+\frac{1}{6}\Sigma(H_k-3)L_kF_k\right]\Big\}+x^2\Big[(\Sigma l_s\varphi_s+\Sigma L_sF_s)+\Big(\frac{1}{2}\Sigma l'_k\varphi_k+$$
$$+\frac{1}{2}\Sigma L_kF_k\Big)+\left(\Sigma\frac{p'_k}{h'_k}\varphi_k+\Sigma\frac{P_k}{H_k-3}F_k\right)\Big]+\frac{1}{3}x^3\Sigma\frac{l_k}{h_k}\varphi_k\;.\;.\;.\;(18).$$

Формула эта совершенно аналогична таковой же (7) и подобно этой послѣдней можетъ быть значительно упрощена.

$$\text{Часть }\left[2\Sigma p_s\varphi_s+\Sigma p_k\varphi_k+\Sigma\frac{v_k}{h_k}+\frac{1}{6}\Sigma h_kl_k\varphi_k\right]\text{, какъ знаемъ уже,}$$

$$\text{равна }\left[2\Sigma p\,.\,\varphi+\frac{(c_n{}^2\varphi_k-\omega_n)}{h_k}\,.\,l_k\right]\text{[1]}\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;(18a).$$

Равнымъ образомъ

$$2\Sigma P_sF_s+\Sigma P_kF_k+\Sigma\frac{W_k}{(H_k-3)}+\frac{1}{6}\Sigma(H_k-3)L_kF_k=2\Sigma PF-\Sigma P_kF_k+\Sigma\frac{W_k}{H_k-3}+$$
$$+\frac{1}{6}\Sigma(H_k-3)L_kF_k;$$

[1]) Членъ $2\Sigma p\varphi$ включаетъ, конечно, только первые крайніе элементы участковъ mM или Nn.

но $\dfrac{w_k}{(H_k-3)}=\left[\dfrac{(H_k-3+c_N)^2}{6}F_k+\dfrac{c_N{}^2}{6}F_k+\dfrac{(H_k-3+2c_N)^2}{6}F_k-\omega_N\right]\dfrac{L_k}{(H_k-3)}$,

$$\text{или}\quad \frac{w_k}{(H_k-3)}=\left[\frac{(H_k-3)^2}{3}F_k+(H_k-3)c_N F_k+(c_N{}^2F_k-\omega_N)\right]\frac{L_k}{(H_k-3)}=$$
$$=\left[\frac{(H_k-3)}{3}F_k+c_N F_k+\frac{(c_N{}^2F_k-\omega_N)}{(H_k-3)}\right]L_k\,;$$

далѣе,

$$\frac{1}{6}(H_k-3)L_kF_k+\frac{w_k}{(H_k-3)}=\left[\frac{(H_k-3)}{2}F_k+c_N F_k+\frac{(c_N{}^2F_k-\omega_N)}{(H_k-3)}\right]L_k\,,$$

площадь же

$$P_kF_k=\frac{[(H_k-3)+2c_N]}{2}\,.\,F_k\,.\,L_k=\left[\frac{(H_k-3)}{2}F_k+c_N F_k\right]L_k\,,$$

поэтому

$$\frac{w_k}{(H_k-3)}+\frac{1}{6}(H_k-3)L_kF_k-P_kF_k=\frac{(c_N{}^2F_k-\omega_N)}{(H_k-3)}\,.\,L_k$$

и

$$2\Sigma P_sF_s+\Sigma P_kF_k+\Sigma\frac{w_k}{(H_k-3)}+\frac{1}{6}\Sigma(H_k-3)L_kF_k=2\Sigma PF+$$
$$(c_N{}^2F_k-\omega_N)\frac{L_k}{(H_k-3)}\quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\quad(18\text{ b}).$$

Въ коэффиціентѣ при x формулы (18) остаются еще вторые крайніе элементы участковъ mM или Nn (фиг. 5), т. е.,

$$\Sigma p_k\varphi_k=2\Sigma p_k\varphi_k-\Sigma p_k\varphi_k=2\Sigma p_k\varphi_k-\Sigma\frac{[h_k-3)+2c_N]}{2}l_k\varphi_k\,;$$

$$\text{затѣмъ}\ \Sigma\frac{v_k}{(h_k-3)}\ \text{и}\ \frac{1}{6}\Sigma(h_k-3)l_k\varphi_k\,;$$

преобразовывая ихъ найдемъ:

$$p_k\varphi_k=\frac{[(h_k+3)+2c_n]}{2}l_k\varphi_k=\frac{(h_k+3)}{2}\varphi_kl_k+c_n\varphi_kl_k$$

$$\text{и}\quad\frac{v_k}{(h_k-3)}+\frac{1}{6}(h_k-3)l_k\varphi_k-p_k\varphi_k=\frac{v_k}{(h_k-3)}-\left[\frac{(h_k\,l_k\,\varphi_k}{3}+2l_k\,\varphi_k+c_n\,\varphi_k\,l_k\right];\quad(18\text{c})$$

$$\text{но}\ \frac{v_k}{(h_k-3)}=\left[\frac{(h_k+c_n)^2}{6}\varphi_k+\frac{(3+c_n)^2}{6}\varphi_k+\frac{(h_k+3+2c_n)^2}{6}\varphi_k-\omega_n\right]\frac{l_k}{(h_k-3)}=$$
$$=\left[\frac{h_k{}^2\varphi_k}{3}+h_kc_n\varphi_k+h_k\varphi_k+c_n{}^2\varphi_k+3c_n\varphi_k+3\varphi_k-\omega_n\right]\frac{l_k}{(h_k-3)}\,,$$

$$\text{и}\ \left[\frac{(h_k\,l_k\,\varphi_k}{3}+2l_k\,\varphi_k+c_n\,\varphi_k\,l_k\right]=\frac{l_k}{(h_k-3)}\left[\frac{(h_k-3)h_k}{3}\varphi_k+2(h_k-3)\varphi_k+\right.$$
$$\left.+(h_k-3)c_n\varphi_k\right]=\frac{l_k}{(h_k-3)}\left[\frac{h_k{}^2\varphi_k}{3}+h_k\varphi_k+h_kc_n\varphi_k-6\varphi_k-3c_n\varphi_k\right],$$

а слѣдовательно, выраженіе (18c) напишется такъ:

$$\frac{v_k}{(h_k-3)}+\frac{1}{6}(h_k-3)l_k\varphi_k-p_k\varphi_k=\frac{l_k}{(h_k-3)}\left[(9\varphi_k+6c_n\varphi_k)+(c_n{}^2\varphi_k-\omega_N)\right]=$$
$$=\frac{l_k}{(h_k-3)}\left[(3+c_n)^2\varphi_k-\omega_n\right]\quad\ldots\ldots\ldots\ldots\quad(18\text{ d}').$$

Выше мы видѣли уже, что $\frac{l_k}{3-h_k}=\frac{L_k}{H_k-3}$, поэтому

$$\frac{v_k}{h_k-3}+\frac{1}{6}(h_k-3)\,l_k\,\varphi_k-p_k\,\varphi_k=-\Big[(3+c_n)^2\varphi_n-\omega_n\Big]\frac{L_k}{(H_k-3)}\;. \quad (18\,d).$$

Соединяя выраженія (18a), (18b) и (18d) получимъ коэффиціентъ при x въ формулѣ (18) въ его сокращенномъ видѣ, а именно:
онъ равенъ

$$\text{K. при } x=2\Sigma p\varphi+2\Sigma PF+\frac{(c_n{}^2\varphi_k-\omega_n)}{h_k}\,l_k+\{(c_N{}^2F_k-\omega_N)-$$
$$-[(3+c_n)^2\varphi_k-\omega_n]\}\frac{L_k}{H_k-3}\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;(18e).$$

Найденное выраженіе допускаетъ, впрочемъ, дальнѣйшее упрощеніе, ибо разность

$$\{(c_N{}^2F_k-\omega_N)-[(3+c_N)^2\varphi_k-\omega_n]\}$$

сравнительно весьма невелика даже при уклонахъ косогора возможной предѣльной величины; при отсутствіи же косогора разность эта равна нулю; вслѣдствіе этого окончательнымъ видомъ выраженія коэффиціента при (x) будетъ слѣдующій:

$$\text{K. при } x=2\Sigma p\,.\,\varphi+2\Sigma P\,.\,F+(c_n{}^2\varphi_k-\omega_n)\frac{l_k}{h_k}\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;(18f).$$

Преобразуемъ теперь коэффиціентъ при x^2 въ выраженіи (18).

$$\Sigma l_s\,\varphi_s+\frac{1}{2}\Sigma l_k{}'\varphi_k+\Sigma\frac{p'_k}{h'_k}\varphi_k=\Sigma l\varphi-\frac{1}{2}\Sigma l_k{}'\varphi_k+\Sigma\frac{(h_k+2c_n)}{2h_k}\,l_k\,\varphi_k+$$
$$+\Sigma\frac{(h_k+3+2c_n)}{2(h_k-3)}\,l_k\,\varphi_k\,,$$

или, на основаніи выраженія (e):

$$\Sigma l_s\,\varphi_s+\frac{1}{2}\Sigma l_k{}'\varphi_k+\Sigma\frac{p_k{}'}{h_k{}'}\varphi_k=\Sigma l\varphi+\Sigma\frac{c_n\,\varphi_k\,l_k}{h_k}-\frac{1}{2}\Sigma l_k\,\varphi_k+\Sigma\frac{(h_k+3+2c_n)}{2(h_k-3)}\,l_k\,\varphi_k=$$
$$=\Sigma l\varphi+\Sigma\frac{c_n\,\varphi_k\,l_k}{h_k}+\Sigma\frac{(3+c_n)\,\varphi_k\,l_k}{(h_k-3)}\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;(18g).$$

Аналогично выраженію (7) найдемъ и

$$\Sigma L_s\,F_s+\frac{1}{2}\,\Sigma L_k\,F_k+\Sigma\,\frac{P_k\,F_k}{(H_k-3)}=\Sigma L\,.\,F+\frac{c_N\,F_k\,L_k}{(H_k-3)}\;;\;.\;.\;.\;.\;(18h)$$

принимая во вниманіе равенство $\frac{L_k}{H_k-3}=\frac{l_k}{3-h_k}$, сумма выраженій (18g) и (18h)

дастъ коэффиціентъ при x^2 въ видѣ:

$$\text{K. при } x^2=\Sigma l\varphi+\Sigma LF+\Sigma\frac{c_n\,\varphi_k\,l_k}{h_k}+\Sigma\,[c_N\,F_k-(3+c_n)\,\varphi_k\,]\,\frac{L_k}{(H_k-3)}\;.\;.\;(18i)$$

по незначительности (сравнительной), послѣднимъ членомъ можно пренебречь (при отсутствіи косогоровъ $[c_{\kappa} F_k - (3 + c_{\kappa}) \varphi_k] = 0$), и коэффиціентъ при x^2 будетъ равенъ:

$$\text{К. при } x^2 = \Sigma l\varphi + \Sigma LF + \Sigma (c_n \varphi_k) \frac{l_k}{h_k} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (18j).$$

Такимъ образомъ находимъ, что выраженіе (18) можетъ быть написано въ видѣ:

$$W_{\kappa}^{x} = W_{\kappa} + \left[2\Sigma p\varphi + 2\Sigma PF + (c_n {}^2\varphi_k - \omega_n) \right] x + \left[\Sigma l\varphi + \Sigma LF + \Sigma c_n \varphi_k \frac{l_k}{h_k} \right] x^2 + \frac{1}{3} \Sigma\varphi_k \frac{l_k}{h_k} x^3 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (18A).$$

Для магистральнаго типа формулой будетъ служить слѣдующая:

$$W_{\kappa}^{x} = W_{\kappa} + [2\Sigma p\varphi + 2\Sigma PF]\ ^{1)}\ x + \left(\Sigma l\varphi + \Sigma LF + 0{,}87\, \Sigma\varphi_k \frac{l_k}{h'_k} \right) x^2 + \frac{1}{3} \Sigma\varphi_k \frac{l_k}{h_k} x^3, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (18B),$$

при чемъ, при отсутствіи косогоровъ она будетъ:

$$W_{\kappa}^{x} = W_{\kappa} + (3\Sigma p + 3{,}50\, \Sigma P) x + \left[1{,}50\, \Sigma l + 1{,}75\, \Sigma L + 1{,}30\, \Sigma \frac{l_k}{h_k} \right] x^2 + 0{,}50\, \Sigma \frac{l_k}{h_k} x^3 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (18 \text{ bis}).$$

---

b) Выемка.

Въ мѣстахъ, подверженныхъ снѣжнымъ или песчанымъ заносамъ мелкія выемки, какъ извѣстно, требуется разбирать по верху до 8 саж.; разборка производится до той предѣльной отмѣтки (H_0), при которой ширина по верху сама собой равна указанному предѣлу. Отмѣтками этими опредѣляются границы участковъ, подсчитываемыхъ различнымъ образомъ.

Въ упомянутомъ выше трудѣ [2]) подсчетъ мелкихъ выемокъ предлагается вычислять по формулѣ:

$$v = \left[\frac{(4 + a_v)}{2} \cdot (h_1 + h_2) - \omega'_v \right] \cdot l,$$

гдѣ a_v — полуширина полотна выемки [3]), и $\omega'_v = [a_n s - 2k]$ [4]).

Съ повышеніемъ проектной линіи до ($m_k n_k$) (фиг. 6), любой промежуточный объемъ участка (mM), напр., (v_2) измѣнится и представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$(v_2)^x = \left[\frac{(4 + a_v)}{2} \cdot h_1 - x + h_2 - x) - \omega'_v \right] \cdot l_2 = \left[\frac{(4 + a_v)}{2} (h_1 + h_2) - \omega'_v \right] l_2 - 2x \cdot \frac{(4 + a_v)}{2} l_2,$$

---

[1]) Членомъ $(c_n \varphi_k - \omega_n) \frac{l_k}{h_k}$ пренебрегаемъ.

[2]) См. выноску на стр. 1.

[3]) Въ нормальныхъ профиляхъ старыхъ магистралей, (фиг. 2) $a_v = \frac{4{,}50}{2} = 2{,}25$ саж.; въ профиляхъ же магистралей новыхъ, (фиг. 2') — $a_v = 2{,}25 + 0{,}30 = 2{,}55$ с.

[4]) Величины a_n, s и k имѣютъ прежнія значенія.

или

$$(v_2)^x = v_2 - 2x \cdot \frac{(4 + a_v)}{2} \cdot l_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19).$$

Объемъ $(v_1)^x$ нужно опредѣлить при разстояніи $l_1 - l_1 \cdot \frac{x}{h_1}$; онъ выразится поэтому такъ:

$$(v_1)^x = \left[\frac{4 + a_v}{2}(h_1 - x) - \omega'_v\right]\left(l_1 - l_1\frac{x}{h_1}\right) = \left[\frac{(4 + a_v)}{2} \cdot h_1 - \omega'_v\right]\left(l_1 - l_1\frac{x}{h_1}\right) -$$
$$- \frac{(4 + a_v)}{2} \cdot x\left(l_1 - l_1\frac{x}{h_1}\right),$$

или

$$(v_1)^x = v_1 - x \cdot \frac{v_1}{h_1} - x\frac{(4 + a_v)}{2} \cdot l_1 + x^2 \cdot \frac{(4 + a_v)}{2} \cdot \frac{l_1}{h_1} \quad \ldots\ldots \quad (20).$$

Объемъ другого крайняго элемента мелкой выемки, напр., $(v_3)^x$ опредѣляется рабочими отмѣтками $(h_2 - x)$ и H_0 при разстояніи

$$l_3 + z = l_3 + l_3 \cdot \frac{x}{(H_0 - h_2)},$$

и равенъ слѣдовательно:

$$(v_3)^x = \left[\frac{4 + a_v}{2}(h_2 - x + H_0) - \omega'_v\right]\left[l_3 + l_3 \cdot \frac{x}{(H_0 - h_2)}\right] = v_3 - x\frac{v_3}{(h_2 - H_0)} -$$
$$- x \cdot \frac{(4 + a_v)}{2} \cdot l_3 + x^2 \cdot \frac{(4 + a_v)}{2}\left[l_3 + l_3\frac{x}{(h_2 - H_0)}\right],$$

или

$$(v_3)^x = v_3 - x\left[\frac{(4 + a_v)}{2} \cdot l_3 + \frac{v_3}{(h_2 - H_0)}\right] + x^2\frac{(4 + a_v)}{2} \cdot \frac{l_3}{(h_2 - H_0)} \quad . \quad (21).$$

Составляя общее выраженіе объема мелкихъ выемокъ, и вводя обозначенія (s) и (k) для среднихъ и крайнихъ элементовъ, будемъ имѣть:

$$(V_v)^x = V_v - x\left[2 \cdot \frac{(4 + a_v)}{2}\Sigma l_s + \frac{(4 + a_v)}{2} \cdot \Sigma l_k + \Sigma\frac{v_k}{h'_k}\right] +$$
$$+ x^2\left[\frac{(4 + a_v)}{2}\Sigma\frac{l_k}{h'_k}\right], \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (22),$$

гдѣ подъ (h'_k) разумѣются вообще такія крайнія ординаты участковъ (mM), какъ напр.,

$$h_1, \ (h_2 - H_0) \text{ и т. п.}$$

Величина $\frac{(4 + a_v)}{2}$ есть нѣкоторая постоянная, что значительно облегчаетъ вычисленіе.

Что касается объемовъ участка $M_x N_x$ (фиг. 6), то легко видѣть, что промежуточные, напр., объемъ $(w_2)^x$ при отмѣткахъ $(H_1 - x)$ и $(H_2 - x)$ и разстояніи (L_2), выразится по аналогіи съ формулой (4 bis) слѣдующимъ образомъ:

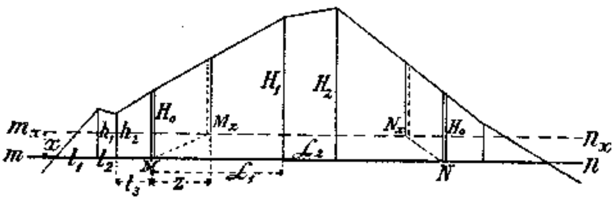
$$(w_2)^x = w_2 - 2xp_2f_2 + 2^2 \cdot L_2 \cdot f_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (23).$$

Крайній же объемъ, напр. $(w_1)^x$, найдется изъ соотношенія:

$$(w_1)^x = \left[\frac{(H_0 + c_v)^2}{6} . f'_1 + \frac{(H_1 - x + c_v)^2}{6} . f''_1 + \frac{(H_0 + H_1 + 2c_v - x)^2}{6} . f_1 - \omega_v\right] \times$$

$$\times \left[L_1 - L_1 \frac{x}{(H_1 - H_0)}\right],$$

$$\text{гдѣ } L_1 \frac{x}{(H_1 - H_0)} = z = l_3 \frac{x}{(H_0 - h_2)} = - l_3 \frac{x}{(h_2 - H_0)} \quad \ldots\ldots \quad (24).$$



Фиг. 6.

Произведя извѣстныя намъ преобразованія найдемъ, что

$$(w_1)^x = w_1 - x\left\{p_1 f_1 + \frac{w_1}{(H_1 - H_0)} + \frac{1}{6}\left[(H_1 - H_0) L_1 f_1\right]\right\} + x^2\left[\frac{1}{2} L_1 f_1 + \right.$$

$$\left. + \frac{p_1}{(H_1 - H_0)} . f_1\right] - \frac{1}{3} x^3 \frac{L_1 f_1}{(H_1 - H_0)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (25).$$

Соединяя (23) и (25) получимъ:

$$(V_w)^x = V_w - x\left[2\Sigma p_s f_s + \Sigma p_k f_k + \Sigma \frac{w_k}{(H_k - H_0)} + \frac{1}{6} \Sigma (H_k - H_0) L_k f_k\right] +$$

$$+ x^2\left[\Sigma L_s f_s + \frac{1}{2} \Sigma L_k f_k + \Sigma \frac{p_k f_k}{(H_k - H_0)}\right] - \frac{1}{3} x^3 \Sigma \frac{L_k f_k}{(H_k - H_0)} \quad \ldots\ldots \quad (26).$$

Общее выраженіе объема одной или нѣсколькихъ выемокъ перемѣннаго откоса на основаніи формулъ (22) и (26) представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$(W_v)^x = W_v - x\left\{\left[2\frac{(4 - a_v)}{2} \Sigma l_s + \frac{(4 + a_v)}{2} \Sigma l'_k + \Sigma \frac{v_k}{h'_k}\right] + \left[2\Sigma p_s f_s + \Sigma p_k f_k + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \Sigma \frac{w_k}{(H_k - H_0)} + \frac{1}{6} \Sigma (H_k - H_0) L_k f_k\right]\right\} + x^2\left\{\left[\frac{(4 + a_v)}{2} \Sigma \frac{l'_k}{h'_k}\right] + \left[\Sigma L_s f_s + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{1}{2} \Sigma L_k f_k + \Sigma \frac{p_k f_k}{(H_k - H_0)}\right]\right\} - \frac{1}{3} x^3 \Sigma \frac{L_k f_k}{(H_k - H_0)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (27).$$

Сдѣлавъ преобразованіе и въ этой формулѣ найдемъ:

1) коэффиціентъ при x:

$$2\Sigma p_s f_s + \Sigma p_k f_k + \Sigma \frac{w_k}{(H_k - H_0)} + \frac{1}{6} \Sigma (H_k - H_0) L_k f_k = 2\Sigma pf +$$

$$+ \left[(H_0 + c_v)^2 . f - \omega_v\right] \times \frac{l_k}{(H_k - H_0)}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (27a).$$

затѣмъ

$$2\left(\frac{4+a_v}{2}\right)\Sigma l_s + \frac{(4+a_v)}{2}\Sigma l'_k + \Sigma\frac{v_k}{h'_k} = 2\left(\frac{4+a_v}{2}\right)\Sigma l +$$

$$+\left[2\left(\frac{4+a_v}{2}\right)H_0 - \omega'_v\right]\frac{l_k}{(h_k - H_0)} - \omega'_v\frac{l_k}{h_k}; \ldots\ldots\ldots (27b)$$

складывая (27a) и (27b) получимъ коэффиціентъ при x равнымъ:

$$\text{К. при } x = \left[2\Sigma p\,.\,f + (4+a_v)\,\Sigma l - \omega'_v\,\frac{l_k}{h_k}\right] \ldots\ldots\ldots (27A).$$

Послѣ подобныхъ же преобразованій найдемъ и коэффиціентъ при x^2 въ видѣ:

$$\text{К. при } x^2 = \Sigma Lf + \Sigma\left(\frac{4+a_v}{2}\right)\frac{l_k}{h_k} + \Sigma\left(2-\frac{a_v}{2}\right)\frac{L_k}{(H_k - H_0)} \ldots\ldots (27B).$$

Подставляя выраженія (27A) и (27B) въ формулу 27, получимъ:

$$W_v{}^x = W_v - \left[2\Sigma p\,.\,f + (4+a_v)\,\Sigma l - \Sigma\omega'_v\,.\,\frac{l_k}{h_k}\right]x + \left[\Sigma Lf + \left(\frac{4-a_v}{2}\right)\Sigma\frac{l_k}{h_k} +\right.$$

$$\left. + \Sigma\left(2-\frac{a_v}{2}\right)\frac{L_k}{(H_k - H_0)}\right]x^2 - \frac{1}{3}\Sigma\frac{L_k\,f_k}{(H_k - H_0)}x^3, \ldots\ldots\ldots (27')$$

гдѣ, какъ знаемъ, p и L относятся къ неразбираемымъ выемкамъ въ отличіе отъ l.

Для магистральныхъ линій (типа фиг. 2′) будемъ имѣть:

$$W_v{}^x = W_v - \left[6{,}55\,\Sigma l + 3\Sigma p + 0{,}27\,\Sigma\frac{l_k}{h_k}\right]x + \left[1{,}50\,\Sigma L + 3{,}275\,\Sigma\frac{l_k}{h_k} +\right.$$

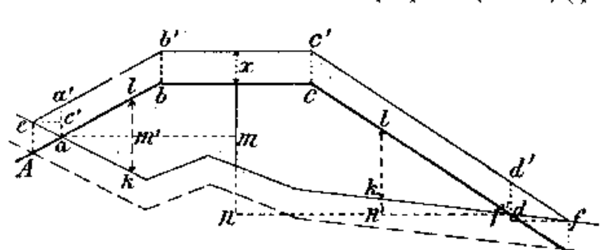
$$\left. + 0{,}725\,\Sigma\frac{L_k}{(H_k - 0{,}97)}\right]x^2 - 0{,}50\,\Sigma\frac{L_k}{(H_k - 0{,}97)}x^3 \ldots\ldots (27\text{ bis}).$$

---

3. Случай графическаго подсчета.

Разсмотримъ теперь случай опредѣленія объемовъ по поперечнымъ профилямъ, имѣющій широкое распространеніе.

Пусть данъ произвольно одинъ подобный профиль (abcd), (фиг. 7).



Фиг. 7.

Перемѣщеніе проэктной линіи на высоту (x) влечетъ за собой приращеніе данной площади P на величину $p = abcdd'c'b'a' + (aa'e + dd'f) = adDA$;

или

$$p = x\,(am + dn) + x\,\left(\frac{ee' + ff'}{2}\right);$$

обозначая

$$am + dn = t$$
$$\text{и}\ \frac{ee' + ff'}{2} = r,$$

можемъ написать

$$p = tx + rx \quad \ldots\ldots \quad (28).$$

Величина (t) опредѣляется непосредственно измѣреніемъ на клѣтчаткѣ, что же касается величины (r), то ее удобнѣе всего находить изъ слѣдующихъ соотношеній (фиг. 7):

$$\frac{kl}{am'} = \frac{aa'}{ee'} = \frac{x}{ee'},$$

$$\text{и}\ \frac{kl}{dn'} = \frac{x}{ff'},$$

откуда

$$\left.\begin{aligned} ee' &= x\,.\,\frac{am'}{kl} \\ \text{и}\quad ff' &= x\,\frac{dn'}{kl} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (29),$$

а слѣдовательно,

$$r = \frac{ee' + ff'}{2} = x\,.\,\frac{(am' + dn')}{2kl} \quad \ldots\ldots \quad (30).$$

Значеніе (kl) можетъ быть выбрано совершенно произвольно въ масштабѣ, принятомъ для поперечныхъ профилей; для большаго удобства въ практическомъ отношеніи нужно выбирать

$$kl = {}^1/_2\,,$$

тогда

$$r = x\,(am' + dn') = \tau\,.\,x\,, \quad \ldots\ldots \quad (31)$$
$$\text{и}\quad p = tx + \tau x^2\,, \quad \ldots\ldots \quad (32)$$

а полная площадь

$$P^x = P + tx + \tau x^2;\ ^{1)} \quad \ldots\ldots \quad (33)$$

въ этомъ случаѣ величина (τ) берется непосредственно съ клѣтчатки, какъ сумма двухъ отрѣзковъ.

Такъ, напр., если масштабъ опредѣленъ соотношеніемъ 2 саж. въ одной соткѣ, то за (kl) слѣдуетъ взять $^1/_4$ сотки, равныхъ, очевидно, $^1/_2$ сажени въ принятомъ масштабѣ. Самое измѣреніе величинъ (t) и (τ) производится весьма легко:

раскрывъ циркуль на $^1/_4$ сотки ставятъ ножки его въ точки (k) и (l) на встрѣчающихся у края линіяхъ профиля, слѣдя, чтобы острія приходились на одной вертикальной линіи, и читаютъ тогда по клѣточкамъ сначала (am'), затѣмъ (dn'), что въ совокупности даетъ $\tau = (am' + dn')$;

величины же (t) читаются на клѣтчаткѣ непосредственно.

---

[1]) Какой бы ни былъ поперечный профиль полотна, площадь всегда можетъ быть изображена формулой (33), гдѣ P представитъ сумму всѣхъ постоянныхъ частей, не зависящихъ отъ новаго положенія проэктной линіи.

Переходя къ опредѣленію объемовъ необходимо имѣть въ виду все то, что сказано о графическомъ способѣ подсчета въ упомянутой выше работѣ (см. выноску на стр. 1).

Вкратцѣ можно припомнить здѣсь, что опредѣляя объемы по упрощенной формулѣ

$$v = \frac{(P_1 + P_2)}{2} . l , \qquad (34)$$

мы получаемъ часто весьма преувеличенный результатъ, не говоря уже объ элементахъ крайнихъ, для которыхъ слѣдуетъ брать

$$v = \frac{P_1 + 0{,}00}{3} \; l .$$

Такъ какъ благодаря косогорамъ и часто совершенно своеобразнымъ контурамъ поперечныхъ профилей примѣненіе поправокъ къ объемамъ, опредѣленнымъ по формулѣ (34), весьма затруднительно, то раціональнѣе оказывается производить подсчетъ по слѣдующей формулѣ:

$$v = [(P_1 + \omega) + (P_2 + \omega) + \sqrt{(P_1 + \omega)(P_2 + \omega)}] \frac{l}{3} - \omega l , \qquad (35)$$

гдѣ подъ P_1 и P_2 разумѣется дѣйствительная площадь, а величины (ω_n), (ω_v) или вообще (ω) имѣютъ значеніе, о которомъ говорилось ранѣе.

Чтобы избѣжать утомительныхъ выкладокъ въ формулѣ (35) мною предложена особая кривая «призмата», съ помощью которой формула упрощается, принимая видъ:

$$v = [(P_1 + \omega) + (P_2 + \omega)] \, k . l - \omega l ,$$

или $$v = \{[(P_1 + \omega) + (P_2 + \omega)] \, k - \omega\} \, l , \qquad (36)$$

гдѣ (k) — нѣкоторый коэффиціентъ, который легко берется по кривой, а ω — имѣетъ значеніе площади, дополняющей данный профиль до треугольной формы [1]).

Не уклоняясь отъ практическихъ требованій расчета земляныхъ работъ можно съ помощью той же призматы пользоваться еще болѣе упрощенной формулой объема:

$$v = (P_1 + P_2) . k . l \qquad (37)$$

значительно болѣе точной, нежели формула (34).

Принимая къ свѣдѣнію все вышеизложенное посмотримъ, какими выраженіями опредѣлятся крайніе и промежуточные объемы насыпи.

Крайній объемъ $(v_1)^x$, ограниченный площадями $P_0 = 0$ и $(P_1)^x = P_1 + t_1 x + \tau_1 x^2$

при разстояніи $\left(l_1 + l_1 . \frac{x}{h_1}\right)$, на основаніи формулы (36) равенъ:

$$(v_1)^x = \{[\omega_n + (P_1 + t_1 x + \tau_1 x^2 + \omega_n) + \omega_n] \, k_1 - \omega_n\} \left(l_1 + l_1 \frac{x}{h_1}\right) \qquad (38)$$

---

[1]) Такъ, напр., для профиля выемки, вычерченнаго съ кюветами (но безъ сточнаго Δ-ка) величиной ω будетъ служить $(a_v c_v - 2k)$ и т. п.

или

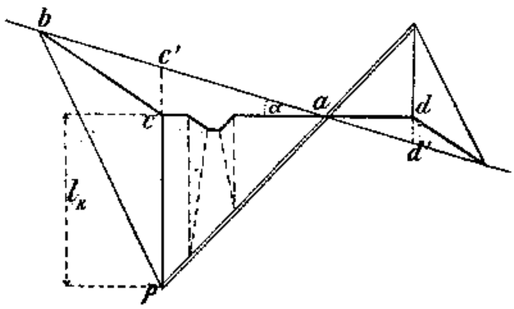
$$(v_1)^x = \{[\omega_n + (P_1 + \omega_n)]\,k_1 - \omega_n\}\left(l_1 + l_1\frac{x}{h_1}\right) + (t_1x + \tau_1x^2)\,k_1\left(l_1 + l_1\frac{x}{h_1}\right) =$$

$$= v_1 + x\frac{v_1}{h_1} + x\,.\,t_1\,.\,k_1\,.\,l_1 + x^2\frac{t_1l_1k_1}{h_1} + x^2\tau_1k_1l_1 + x^3\frac{\tau_1k_1l_1}{h_1}\,. \quad \ldots \quad (38').$$

Такъ какъ значеніе (k_1) для крайнихъ элементовъ равно $^1/_3$, то сдѣлавъ эту подстановку получимъ:

$$(v_1)^x = v_1 + x\left(\frac{v_1}{h_1} + \frac{1}{3}\,t_1l_1\right) + \frac{1}{3}x^2\left(\frac{t_1}{h_1} + \tau_1\right)l_1 + \frac{1}{3}x^3\frac{\tau_1l_1}{h_1} \ldots \quad (39).$$

Замѣтимъ здѣсь, что разстояніе крайняго объема въ дѣйствительности будетъ равно $l_1^x = \left(l_1 + x\frac{l_1}{h_1}\right)$ только тогда, когда площадь равная нулю находится на переходѣ отъ нѣкоторой отмѣтки h_n къ h_x; большею частью, однако (см. ниже примѣръ) на такихъ переходахъ имѣемъ полунасыпь-полувыемку, причемъ крайнимъ объемомъ служитъ уже нѣкоторая пирамидка abcp (фиг. 8), заканчивающая собою данную насыпь или выемку.



Фиг. 8.

Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ (косогоровъ), слѣдуетъ (при обращеніи съ нижевыведенными выраженіями 42 и 45 и т. п.) за h_k принимать отрѣзокъ (cc'), (выемка), или dd' (насыпь), указанный на фиг. 8.

Это ясно изъ соотношенія (напр. для выемки)

$$\frac{l^x}{l_k} = \frac{ac - \dfrac{x}{tg\,\alpha}}{ac} = 1 - \frac{x}{ac\,.\,tg\,\alpha}\,,$$

$$\text{и } l^x = l_k - l_k\frac{x}{cc'} \quad \ldots \quad (40).$$

Что касается опредѣленія длины l_k, то это относится уже къ расчету земляныхъ работъ и изложено въ цитированномъ выше трудѣ [1]).

Любой промежуточный объемъ, напр., $(v_2)^x$ можно разбить на три составныхъ, ограниченныхъ соотвѣтственно площадями

1) P_1 и P_2

2) t_1x и t_2x

и 3) τ_1x^2 и τ_2x^2;

---

[1]) См. выноску на стр. 1.

первая часть опредѣлится по извѣстному правилу (36) такъ:

$$v' = \{[(P_1 + \omega_n) + (P_2 + \omega_n)]\, k_2 - \omega_n\}\, l_2 = v_2\,;$$

вторая часть представляетъ призму съ параллельными основаніями, объемъ которой (v'') равенъ:

$$v'' = \frac{(t_1 + t_2)}{2} \cdot x \cdot l_2\,;$$

третья-же часть хотя и представляетъ усѣченную пирамиду, но въ виду незначительности члена, содержащаго x^2 и благодаря величинѣ k_2, мало отличающейся отъ $^1/_2$ [1]), можно принять, что

$$v''' = \frac{(\tau_1 + \tau_2)}{2}\, x^2 \cdot l_2\,;$$

такимъ образомъ, объемъ $(v_2)^x$ представится слѣдующей суммой:

$$(v_2)_x = v_2 + x \cdot \frac{t_1 + t_2}{2} \cdot l_2 + x^2\, \frac{(\tau_1 + \tau_2)}{2} \cdot l_2 \quad \dots\dots\dots \quad (41).$$

Вводя индексы (s) и (k) для соотвѣтственныхъ элементовъ, какъ это дѣлалось нами и ранѣе, найдемъ общее выраженіе объема одной или нѣсколькихъ насыпей:

$$(V_n)^x = V_n + x\left[\Sigma\, \frac{(t_1 + t_2)_s}{2} \cdot l_s + \frac{1}{3}\Sigma l_k \cdot t_k + \Sigma \frac{v_k}{h_k}\right] +$$
$$+ x^2\left[\Sigma\, \frac{(\tau_1 + \tau_2)_s}{2} \cdot l_s + \frac{1}{3}\,\Sigma l_k \cdot \tau_k + \frac{1}{3}\,\Sigma\, \frac{l_k\, t_k}{h_k}\right] + \frac{1}{3}\, x^3\, \Sigma\, \frac{l_k\, \tau_k}{h_k} \quad \dots \quad (42).$$

Крайній объемъ $(v_1)^x$ и промежуточный $(v_2)^x$ — выемокъ найдется подобно предыдущему:

$$(v_1)^x = \{[\omega_v + (P_1 - t_1 x + \tau_1 x^2 + \omega_v)]\, k_1 - \omega_v\}\left(l_1 - l_1\, \frac{x}{h_1}\right), \quad \dots\dots \quad (43)$$

или

$$(v_1)^x = v_1 - x\left[\frac{v_1}{h_1} + \frac{1}{3}\, t_1 l_1\right] + \frac{1}{3}\, x^2\left(\tau_1 + \frac{t_1}{h_1}\right) l_1 - \frac{1}{3}\, x^3\, \frac{l_1 \tau_1}{h_1} \quad \dots\dots \quad (43')$$

$$\text{и } (v_2)^x = v_2 - x\, \frac{(t_1 + t_2)}{2} \cdot l_2 + x^2\, \frac{(\tau_1 + \tau_2)}{2} \cdot l_2 \quad \dots\dots\dots \quad (44),$$

слѣдовательно общее выраженіе выемки будетъ:

$$(V_v)^x = V_v - x\left[\Sigma\, \frac{(t_1 + t_2)_s}{2} \cdot l_s + \frac{1}{3}\,\Sigma\, t_k\, l_k + \Sigma\, \frac{v_k}{h_k}\right] +$$
$$+ x^2\left[\Sigma\, \frac{(\tau_1 + \tau_2)_s}{2} \cdot l_s + \frac{1}{3}\,\Sigma\, \tau_k\, l_k + \frac{1}{3}\,\Sigma\, \frac{l_k\, t_k}{h_k}\right] - \frac{1}{3}\, x^3\, \Sigma\, \frac{l_k\, \tau_k}{h_k} \quad \dots \quad (45).$$

Изъ фиг. (9) легко замѣтить слѣдующее:
для выемки:

$$V_k = \frac{1}{3}\,(p_k \cdot l_k) = \frac{1}{3}\left(\frac{t_k\, h_k}{2} + k\right) l_k = \frac{t_k\, h_k\, l_k}{6} + \frac{k}{3} \cdot l_k\,, \text{ гдѣ}$$

k — площадь кювета;

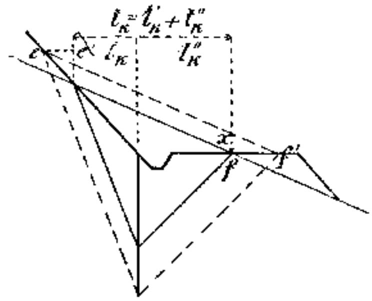
[1]) Предѣлами (k_2) являются: $^1/_3$ при отношеніи $\frac{P_1}{P_2 = 0} = \infty$, и $^1/_2$ при $\frac{P_1}{P_2} = 1$.

$$\text{поэтому} \quad \frac{v_k}{h_k} = \frac{t_k\, l_k}{6} + \frac{k}{3}\cdot\frac{l_k}{h_k} \quad \text{и}$$

$$\Sigma\frac{t_k\, l_k}{3} + \Sigma\frac{v_k}{h_k} = \Sigma\frac{t_k\, l_k}{2} + \frac{k}{3}\,\Sigma\frac{l_k}{h_k} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (45a).$$

Коэффиціентъ при x въ выраженіи 45 будетъ слѣдовательно:

$$\text{К. при } x = \Sigma\left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right).\, l + \frac{k}{3}\,\Sigma\frac{l_k}{h_k} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (45A).$$



Фиг. 9.

Далѣе, мы имѣемъ, на основаніи 30 и 31 выраженій:

$$r = \frac{ee'}{2} + \frac{ff'}{2} = \tau x, \text{ или } \frac{ee'}{2x} + \frac{ff'}{2x} = \tau\,;$$

по фиг. 9

$$\frac{ee'}{2x} = \frac{t_k{}'}{2h_k} \text{ и } \frac{ff'}{2x} = \frac{t_k{}''}{2h_k}, \text{ поэтому}$$

$$\tau_k = \frac{t_k{}' + t_k{}''}{2h_k} = \frac{t_k}{2h_k}, \text{ или } \frac{t_k}{h_k} = 2\tau_k$$

$$\text{и} \quad \frac{1}{3}\,\Sigma l_k\,\tau_k + \frac{1}{3}\,\Sigma\frac{l_k\, t_k}{h_k} = \Sigma\tau_k\, l_k = \Sigma\frac{\tau_k\, l_k}{2} + \Sigma\frac{\tau_k\, l_k}{2}\;;$$

К. при x^2 будетъ слѣдовательно равенъ;

$$\text{К. при } x^2 = \Sigma\left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}\right) l + \Sigma\frac{\tau_k\cdot l_k}{2} \quad \ldots\ldots \quad (45B).$$

Общее выраженіе выемки будетъ:

$$(V_v)^x = V_v - \left[\Sigma\left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right) l + \frac{k}{3}\,\Sigma\frac{l_k}{h_k}\right] x + \left[\Sigma\left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}\right) l + \frac{1}{2}\,\Sigma\,\tau_k\, l_k\right] x^2 - \Sigma\frac{\tau_k}{3}\cdot\frac{l_k}{h_k}\,x^3 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (45\text{ bis}).$$

Для насыпи будемъ имѣть аналогичное:

$$(V_n)^x = V_n + \left[\Sigma \left(\frac{t_1 + t_2}{2} \right) l \right] x + \left[\Sigma \left(\frac{t_1 + t_2}{2} \right) l + \frac{1}{2} \Sigma \tau_k l_k \right] x^2 +$$
$$+ \Sigma \frac{\tau_k}{3} \cdot \frac{l_k}{h_k} x^3 \qquad (42 \text{ bis}).$$

Если въ практическомъ примѣненіи имѣемъ чередующійся подсчетъ по таблицамъ и по поперечнымъ профилямъ, то выраженіе объема земляныхъ работъ составляется весьма легко простымъ суммированіемъ соотвѣтственныхъ формулъ.

Составляя общія выраженія объемовъ земляныхъ работъ, необходимо принимать во вниманіе кубатуру, выключаемую на мѣстѣ трубъ и мостовъ, но объ этомъ будемъ говорить ниже въ соотвѣтственныхъ отдѣлахъ.

Здѣсь же скажемъ нѣсколько словъ о разрыхляемости выемокъ и уплотненіи насыпей.

Преслѣдуя точность расчета въ вопросахъ, о которыхъ говорится въ слѣдующемъ параграфѣ, слѣдуетъ имѣть въ виду, что: 1) грунтъ выемки вслѣдствіе разработки увеличивается въ объемѣ, при чемъ этотъ послѣдній находится умноженіемъ первоначально исчисленнаго на нѣкоторый «коэффиціентъ разрыхленія»; коэффиціенты, конечно не одинаковы, соотвѣтствуя различнымъ грунтамъ; 2) — насыпь, возводясь изъ разрыхленнаго грунта неизбѣжно даетъ осадку, т. е., уплотняется, для чего къ первоначальному объему ея придается нѣкоторый излишекъ «на осадку»; исправленный объемъ и въ этомъ случаѣ находится умноженіемъ первоначальнаго объема на нѣкоторый «коэффиціентъ уплотненія».

Въ цитированномъ уже не разъ выше трудѣ (см. выноску на стр. 1) приведены различные коэффиціенты и дана формула излишка объема «на осадку».

---

4. Рѣшеніе вопроса о любой комбинаціи земляныхъ работъ; транспортность ихъ и minimum. Ускоренный способъ рѣшеній.

а) Транспортность земляныхъ работъ.

Въ предисловіи говорилось уже, какое важное значеніе имѣетъ опредѣленіе того положенія проектной линіи, при которомъ можно получить желаемое соотношеніе между кубатурами насыпи и выемки, а въ частности — равенство ихъ, или такъ называемую транспортность.

Первый вопросъ требуетъ разрѣшенія въ томъ случаѣ, когда по тѣмъ или инымъ соображеніямъ приходится дать перевѣсъ одной изъ кубатуръ; напримѣръ, элементарный расчетъ показываетъ, что на данномъ участкѣ выгоднѣе проектировать резервы приблизительно на (w_1) кубовъ, чѣмъ платить за продольную возку; затѣмъ есть возможность использовать около (w_2) кубовъ различныхъ канавъ, новыхъ руселъ и т. п.

Тогда, очевидно, слѣдуетъ проектировать полотно на данномъ участкѣ такъ, чтобы выемокъ было на ($w_1 + w_2$) кубовъ менѣе, нежели насыпей.

Другой случай: 1) выгоднѣе сработать въ кавальеры N_1 кубовъ; 2) необходимо на сооруженіе дамбъ, присыпку бермъ, засыпку руселъ и т. п. N_2 кубовъ, которые удобно было бы взять изъ выемки; проектная линія укладывается тогда съ расчетомъ превышенія выемокъ на ($N_1 + N_2$) кубовъ.

Оба случая могутъ быть въ виду, конечно, одновременно на ряду съ другими техническими соображеніями.

Вопросъ о транспортности работъ можно разсматривать, какъ частный случай перваго.

Перейдемъ теперь къ самому рѣшенію.

Разсмотрѣніе выведенныхъ выше общихъ выраженій объемовъ насыпи и выемки позволяетъ замѣтить, что первыя имѣютъ вообще видъ:

$$V_n^x = a_n + b_n x + c_n x^2 + d_n x^3 \quad \ldots \ldots \quad (46)$$

а вторыя:

$$V_v^x = a_v - b_v x + c_v x^2 - d_v x^3 \quad \ldots \ldots \quad (47).$$

Если предположить, что въ члены (a_n) и (a_v) введены уже тѣ дополнительныя количества (w_1), (N_1) и т. д., о которыхъ говорилось выше, и всѣ члены выраженій (46) и (47) помножены затѣмъ на соотвѣтственные коэффиціенты (k), — (разрыхленія выемокъ), и (n) — (уплотненія насыпей), то постановленный выше вопросъ о требуемой комбинаціи или транспортности разрѣшится уравненіемъ:

$$V_n^x - V_v^x = 0,$$

т. е.

$$(a_n - a_v) + (b_n + b_v)\,x + (c_n - c_v)\,x^2 + (d_n + d_v)\,x^3 = 0$$

или сокращенно: $a + bx + cx^2 + dx^3 = 0; \quad \ldots \ldots \quad (48),$

дѣйствительный корень этого уравненія опредѣляетъ собою ту величину, на которую необходимо поднять проектную линію.

Такъ какъ рѣшеніе уравненія по правилу Кардана сложно и утомительно, то воспользуемся другимъ способомъ, дающимъ желаемую точность.

1) За малостью, что обыкновенно бываетъ, члена dx^3 находимъ первый приближенный корень (x_1) изъ уравненія:

$$a + bx + cx^2 = 0\,, \quad \ldots \ldots \quad (49),$$

откуда

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c}\,;$$

подставляя этотъ корень въ членъ dx^3, получаемъ новое уравненіе изъ (48):

$$(a + dx_1^3) + bx + cx^2 = 0\,,$$

рѣшая которое найдемъ уже достаточно точный корень (x_r), а именно:

$$x_r = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4(a + dx_1^3)\,c}}{2c} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac - 4cdx_1^3}}{2c}\ ^{1)}; \quad (49')$$

при этомъ, такъ какъ величина ($4cdx_1^3$) весьма незначительна въ сравненіи съ ($b^2 - 4ac$), то полагаемъ:

$$\sqrt{b^2 - 4ac - 4cdx_1^3} = \sqrt{b^2 - 4ac} - \frac{4cdx_1^3}{2\sqrt{b^2 - 4ac}}\,;$$

---

[1]) Черезъ x_r и x_s будемъ обозначать корни рѣшеній: 1) — транспортности [приравниваніе нулю разности выраженій, индексъ (r)] и minimum'a (приравниваніе нулю производной суммы выраженій объемовъ).

тогда равенство (49') приметъ видъ:

$$x_r = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c} - \frac{dx_1^3}{\sqrt{b^2 - 4ac}} = x_1 - \frac{dx_1^3}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \quad \ldots \quad (50).$$

2) Если напишемъ уравненіе (48) въ видѣ

$$f(x) = 0,$$

а первую производную

$$f'(x) = 0,$$

и путемъ пробной подстановки найдемъ нѣкоторый приближенный корень x_1, то болѣе точный корень (x_2) опредѣлится по Ньютону равенствомъ

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)}; \quad \ldots \ldots \ldots \quad (51)$$

если бы оказалось, что разность $(x_2 - x_1)$ еще довольно значительна (что, впрочемъ, случается сравнительно рѣдко), то слѣдуетъ взять корень

$$x_3 = x_2 - \frac{f(x_2)}{f'(x_2)} \text{ и т. д.}$$

до искомаго корня x_r.

---

b) Minimum земляныхъ работъ.

Чтобы отыскать то значеніе (x), при которомъ общее количество земляныхъ работъ, опредѣленное выраженіями (46) и (47), было бы наименьшимъ, поступаемъ по общему правилу, а именно:

взявъ сумму

$$(V_n)^x + (V_v)^x, \text{ т. е.}$$

$$(a_n + a_v) + (b_n - b_v)x + (c_n + c_v)x^2 + (d_n - d_v)x^3 \text{ [1]},$$

обозначенную сокращенно:

$$A + Bx + Cx^2 + Dx^3 = \Sigma V$$

и приравнивая нулю первую производную получимъ уравненіе

$$3Dx^2 + 2Cx + B = 0, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (52)$$

откуда корень

$$x_s = \frac{-2c + \sqrt{4C^2 - 4(3D)B}}{6D},$$

или

$$x_s = \frac{-C + \sqrt{C^2 - 3DB}}{3D}.$$

Что при данномъ (x_s) получаемъ дѣйствительно minimum легко убѣдиться под-

---

[1]) Считаю нужнымъ во избѣжаніе недоразумѣній, предупредить, что выраженіе $(V_n^x + V_v^x)$ не есть уравненіе, какъ напр. $(V_n^x - V_v^x)$, а потому мѣнять въ немъ знаки на обратные нельзя.

становкой (x_s) во вторую производную, которая обращается въ положительную величину, т. е.:

$$6Dx_s + 2C > 0.$$

Опредѣливши (x_r) или (x_s) перемѣщаютъ соотвѣтственнымъ образомъ проектную линію и производятъ новый подсчетъ по общему правилу. Впрочемъ, если примѣненіе формулъ и расчетъ — правильны, то общее количество насыпи или выемки въ отдѣльности можно получить непосредственно изъ выраженій $(V_n)^x$ и $(V_v)^x$, подставляя въ нихъ найденный корень (x_r) или (x_s).

c) Ускоренный способъ отысканія рѣшеній (x_r) и (x_s).

Въ большинствѣ случаевъ указанный выше ходъ расчета можно значительно упростить на основаніи слѣдующихъ соображеній: такъ какъ, во первыхъ: величина корня (x) обыкновенно сравнительно невелика (если только, конечно, первоначальная проектировка не слишкомъ груба); 2) — при укладываніи проектной линіи принято вообще держаться отмѣтокъ округленныхъ, т. е. кратныхъ не менѣе какъ 0,05 саж. и 3) — члены выраженія (48), (cx^2) и (dx^3) оказываютъ на рѣшеніе весьма слабое вліяніе, какъ въ этомъ можно убѣдиться на приведенныхъ ниже примѣрахъ, — то достаточнымъ оказывается ограничиться при наличности члена (a) вычисленіемъ только одного коэффиціента (b) члена (bx) въ выраженіи (48), а это крайне упрощаетъ и облегчаетъ отысканіе рѣшеній; такимъ образомъ корень находится изъ простѣйшаго уравненія

$$a + bx = 0, \qquad (53)$$

откуда

$$x = -\frac{a}{b} = -\frac{(a_n - a_v)}{(b_n + b_v)}. \text{ (См. 46 и 47).}$$

Равнымъ образомъ, отыскивая minimum земляныхъ работъ достаточно въ выраженіи (52) первой производной ограничиться двумя членами, рѣшая уравненіе

$$2Cx + B = 0, \qquad (54)$$

откуда

$$x = -\frac{B}{2C} = -\frac{(b_n - b_v)}{2(c_n + c_v)}. \text{ (См. 46 и 47).}$$

5. Примѣры. Опредѣленіе транспортности способомъ неопредѣленныхъ коэффиціентовъ.

a) Примѣры.

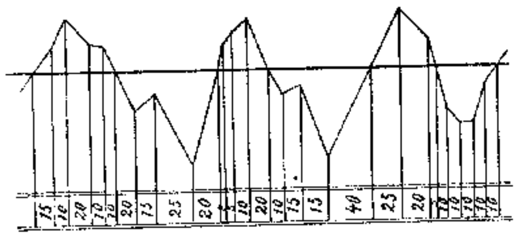
Разсмотримъ теперь нѣсколько примѣровъ, отвѣчающихъ разобраннымъ случаямъ расчета, при чемъ не будемъ для избѣжанія излишнихъ усложненій задаваться: 1) особыми соотношеніями кубатуръ насыпи и выемки кромѣ транспортности ихъ [1]) и

[1]) Особое соотношеніе характеризуется лишь свободными членами выраженій объемовъ.

минимума; 2)—коэффиціентами «разрыхленія» и «уплотненія», о которыхъ говорилось выше. При рѣшеніяхъ воспользуемся обыкновеннымъ и ускореннымъ способами для сравненія.

Пусть имѣемъ показанный на фиг. 10 продольный профиль полотна нормальнаго типа (поперечные профиля см. на фиг. 1 и 2) въ ровной мѣстности.

Обращаясь къ формуламъ (7 bis) и (8 bis) начнемъ съ опредѣленія объемовъ (V_n) и (V_v), т. е. свободныхъ членовъ [1]).



Фиг. 10.

Какъ видѣли выше, (V_n) и (V_v) опредѣляются формулами (1) и (1′), гдѣ коэффиціенты (φ) и (f) слѣдуетъ положить равными $\gamma = 1{,}50$, благодаря ровной мѣстности и полуторнымъ откосамъ полотна; поэтому формулы (1) и (1′) можно для удобства переписать такъ:

$$V_n = \left[\frac{(h_1 + c_n)^2}{6} + \frac{(h_2 + c_n)^2}{6} + \frac{(h_1 + h_2 + 2c_n)^2}{6} - \frac{\omega_n}{1{,}50}\right] 1{,}50 \,.\, L_n ,$$

$$\text{и } V_v = \left[\frac{(h_1 + c_v)^2}{6} + \frac{(h_2 + c_v)^2}{6} + \frac{(h_1 + h_2 + 2c_v)^2}{6} - \frac{\omega_v}{1{,}50}\right] 1{,}50\ L_v .$$

Здѣсь: 1) $c_n = a_n \,.\, \mathrm{tg}i = \frac{2{,}60}{2} \,.\, {}^2/_3 = 0{,}87$ саж.

$\omega_n = a_n\, c_n - a_n\, s = (1{,}30\,.)\,(0{,}87) - (1{,}30)\,.\,(0{,}06) = 1{,}05$

$\frac{\omega_n}{1{,}50} = 0{,}70$ саж.

2) $c_v = a_v \,.\, \mathrm{tg}i = \frac{4{,}50}{2} \,.\, {}^2/_3 = 1{,}50$ с.;

$\omega_v = (a_v \,.\, c_v + a_n \,.\, s - 2k) = (2{,}25)\,.\,(1{,}50) + 0{,}08 - 0{,}35 = 3{,}11$ с.,

и $\frac{\omega_v}{1{,}50} = 2{,}07$ саж.

Сводя всѣ данныя подсчета и результаты въ табличкахъ будемъ имѣть:

---

[1]) На практикѣ имѣемъ дѣло уже, конечно, съ готовыми подсчетами этихъ величинъ.

Первая выемка.

l	h	h + c	h_1+h_2+2c	V	3 p	$\frac{l_k}{h_k}$	1,50 l
	0,00	1,50					
15			5,00	101,70	112,50	7,50	22,50
	2,00	3,50					
10			9,00	277,65	135,00	—	15,00
	4,00	5,50					
20			9,00	555,30	270,00	—	30,00
	2,00	3,50					
10			6,50	127,65	97,50	—	15,00
	1,50	3,00					
10			4,50	47,70	67,50	6,67	15,00
	0,00	1,50					
		ИТОГО		1110,00	682,50	14,17	97,50

Вторая выемка.

	0,00	1,50					
5			5,00	33,90	37,50	2,50	7,50
	2,00	3,50					
5			8,00	105,00	60,00	—	7,50
	3,00	4,50					
10			10,00	345,15	150,00	—	15,00
	4,00	5,50					
20			7,00	345,60	210,00	5,00	30,00
	0,00	1,50					
		ИТОГО		829,65	457,50	7,50	60,00

Третья выемка.

	0,00	1,50					
25			8,00	600,37	300,00	5,00	37,50
	5,00	6,50					
20			10,00	710,40	300,00	—	30,00
	2,00	3,50					
5			5,00	33,90	37,50	2,50	7,50
	0,00	1,50					
		ИТОГО		1344,67	637,50	7,50	75,00
		ВСЕГО		3284,77	1777,50	29,17	232,50

Первая насыпь.

	0,00	0,87					
20			4,74	170,40	142,20	6,67	30,00
	3,00	3,87					
15			6,74	241,65	151,65	—	22,50
	2,00	2,87					
25			11,74	1378,12	440,25	—	37,50
	8,00	8,87					
20			9,74	850,50	292,20	2,50	30,00
	0,00	0,87					
		ИТОГО	. . . .	2640,67	1026,30	9,17	120,00

Вторая насыпь.

	0,00	0,87					
10			3,74	46,95	56,10	5,00	15,00
	2,00	2,87					
15			4,74	112,50	106,65	—	22,50
	1,00	1,87					
15			10,74	724,95	241,65	—	22,50
	8,00	8,87					
40			9,74	1701,00	584,40	5,00	60,00
	0,00	0,87					
		ИТОГО	. . . .	2585,40	988,80	10,00	120,00

Третья насыпь.

	0,00	0,87					
10			5,74	133,05	86,10	2,50	15,00
	4,00	4,87					
10			10,74	423,30	161,10	—	15,00
	5,00	5,87					
10			11,74	506,25	176,10	—	15,00
	5,00	5,87					
10			7,74	234,15	116,10	—	15,00
	1,00	1,87					
10			2,74	18,90	41,10	10,00	15,00
	0,00	0,87					
		ИТОГО	. . . .	1315,65	580,50	12,50	75,00
		ВСЕГО	. . . .	6541,72	2595,60	31,67	315,00

На основанiи полученныхъ данныхъ будемъ имѣть выраженiе объема выемки

$$(V_v)^x = 3284{,}17 - x\,(1777{,}50 + 0{,}267\,.\,29{,}17) + x^2\,(232{,}50 + 2{,}25\,.\,29{,}17) - 0{,}50\,.\,29{,}17\,x^3,$$

или

$$(V_v)^x = 3284{,}17 - 1785{,}52\,x + 298{,}14\,x^2 - 14{,}58\,x^3,$$

и объема насыпи:

$$(V_n)^x = 6541{,}72 + [2595{,}60 + 0{,}08\,.\,(31{,}67)]\,x + [315{,}00 + 1{,}30\,.\,(31{,}67)]\,x^2 + \\ + 0{,}50\,(31{,}67)\,x^3,$$

$$\text{или } (V_n)^x = 6541{,}72 + 2598{,}43\,x + 356{,}33\,x^2 + 15{,}83\,x^3.$$

Рѣшая вопросъ о равенствѣ объемовъ вычтемъ одно выраженiе изъ другого и, приравнивая нулю, получаемъ слѣдующее уравненiе:

$$30{,}41\,x^3 + 58{,}19\,x^2 + 4383{,}95\,x + 3257{,}55 = 0.$$

Примѣняя вышеуказанный методъ (1-й) рѣшенiя опредѣляемъ первый приближенный корень, а именно: изъ уравненiя

$$58{,}19\,x^2 + 4383{,}95\,x + 3257{,}55 = 0$$

имѣемъ

$$x_1 = -0{,}75;$$

болѣе точный корень (x_r) найдется, какъ выше указано:

$$x_r = -0{,}75 - \frac{30{,}41\,(-0{,}75)^3}{\sqrt{(4583{,}95)^2 - 4\,(58{,}19)\,(3257{,}55)}} = -0{,}75 + 0{,}003;$$

какъ видимъ значенiе (— 0,75) совершенно достаточно. Измѣнивъ согласно полученному рѣшенiю положенiе проектной линiи (т. е. опустивъ ее на 0,75 с.) пересчитываемъ отмѣтки; такъ, въ первой выемкѣ онѣ будутъ:

0,00; 2,75; 4,75; 2,75; 2,25 и 0,00 и т. д.

а, напр., въ первой насыпи:

0,00; 2,25; 1,25; 7,25; 0,00.

Разстоянiя (l) остаются тѣ же, за исключенiемъ крайнихъ (l_k), которыя измѣнятся въ силу извѣстныхъ отношенiй, а именно:
въ насыпи

$$l_k{}^x = l_k + (-0{,}75)\,\frac{l_k}{h_k} = l_k - 0{,}75\,\frac{l_k}{h_k};$$

въ выемкѣ же:

$$l_k{}^x = l_k + 0{,}75\,\frac{l_k}{h_k};$$

такимъ образомъ, напр., въ первой насыпи онѣ будутъ

$$20 - 0{,}75\,\frac{20}{3} = 15{,}00 \text{ и } 20 - 0{,}75\,\frac{20}{8} = 18{,}12 \text{ саж.},$$

а въ первой выемкѣ:

20,63 и 15,00 саж. и т. д. [1]).

---

[1]) На практикѣ поступимъ болѣе точно, если при новомъ положенiи проекта опредѣлимъ переходныя точки (нули) по общему правилу подсчета земляныхъ работъ.

Произведя подсчетъ кубатуры при новыхъ данныхъ находимъ:

Объемъ	первой	выемки	= 1700,39	кб. с.
»	второй	»	= 1218,95	» »
»	третьей	»	= 1877,52	» »
а всего выемки			4796,86	кб. с.

Точно также:

Объемъ	первой	насыпи	= 1941,89	кб. с.
»	2-й	»	= 1915,31	» »
»	3-й	»	= 928,03	» »
а всего насыпи			4785,23	кб. с.

Какъ видимъ, получился ожидаемый результатъ, при чемъ незначительная разница

$$4796,86 - 4785,23 = 11,63 \text{ кб. с.}$$

является слѣдствіемъ округленности корня (x). Помимо тѣхъ преимуществъ, какія представляетъ транспортность работъ, имѣемъ еще общее уменьшеніе количества земляныхъ работъ, а именно: общая кубатура при новой проектной линіи равна

$$4796,86 + 4785,23 = 9582,10 \text{ кб. с.}$$

тогда какъ ранѣе мы имѣли

$$6541,72 + 3284,17 = 9825,89 \text{ кб. с.;}$$

слѣдовательно, экономіи на взятой части профиля (около версты):

$$9825,89 - 9582,10 = 243,79 \text{ кб. с.}$$

Какъ сказано выше, имѣя точныя выраженія $(V_п)^x$ и $(V_v)^x$ можно обойтись безъ новаго подробнаго подсчета насыпи и выемки, а опредѣлить кубатуру ихъ при $x_r = -0,75$ непосредственной подстановкой въ эти выраженія—корня; дѣйствительно, поступая такимъ образомъ имѣемъ:

выемки: $3284,17 - 1785,52\,(-0,75) + 298,14\,(-0,75)^2 - 14,58\,(-0,75)^3 = 4796,39$ кб. с.
и насыпи: $6541,72 + 2598,43\,(-0,75) + 356,33\,(-0,75)^2 + 15,83\,(-0,75)^3 = 4785,88$ кб. с.

Рѣшимъ теперь вопросъ о minimum'ѣ кубатуры. Составляя сумму $(V^п)^x + (V^v)^x$, т. е.

$$1,25\,x^3 + 654,47\,x^2 + 812,91\,x + 9825,89$$

и приравнивая нулю первую производную, имѣемъ уравненіе:

$$3,75\,x^2 + 1308,94\,x + 812,91 = 0,$$

откуда $x_s = \dfrac{-1308,94 + \sqrt{(1308,94)^2 - 4.(3,75)\,812,91}}{2.(3,75)} = \infty - 0,62.$

Подставляя $x = -0,62$ во вторую производную имѣемъ

$7,50.(-0,62) + 1308,94 > 0$, что указываетъ, что въ данномъ случаѣ выраженіе дѣйствительно имѣетъ minimum.

Взявъ окончательно $x = -0{,}60$ и произведя новый подсчетъ получимъ:

насыпи: $2070{,}96 + 2038{,}66 + 998{,}20 = 5107{,}82$ кб. с.

выемки: $1569{,}73 + 1133{,}62 + 1762{,}19 = 4465{,}54$ кб. с.

а всего . . . $9573{,}36$ кб. с.,

т. е., на 252,53 кб. с. менѣе, чѣмъ въ первомъ подсчетѣ, и только на 8,74 кб. с. менѣе количества, полученнаго при транспортности.

Послѣднее обстоятельство, т. е., сравнительно очень малая разница въ кубатурахъ при условіи транспортности и minimum'а наблюдается вообще довольно часто, такъ что повидимому, больше основаній отдавать предпочтеніе транспортности, если этому не мѣшаютъ особыя соображенія, о которыхъ рѣчь будетъ впереди.

Подставляя корень $x_в = -0{,}60$ въ выраженія объемовъ, непосредственно находимъ количества: выемки 4465,95 кб. с. и насыпи 5107,52 кб. с., т. е., почти совершенно тѣ же количества, которыя получены были нами выше подробнымъ подсчетомъ.

Что касается ускореннаго отысканія достаточно точныхъ значеній ($x_г$) и ($x_в$), о чемъ говорилось уже, то данный примѣръ въ должной степени подтверждаетъ вѣрность предложеннаго способа; въ самомъ дѣлѣ:

отыскивая величину ($x_г$) опредѣляемъ только первые два члена выраженія (48), т. е., въ нашемъ примѣрѣ вмѣсто уравненія

$$30{,}41\,x^3 + 58{,}19\,x^2 + 4383{,}95\,x + 3257{,}55 = 0$$

ограничиваемся уравненіемъ

$$4483{,}95\,x + 3257{,}55 = 0$$

рѣшеніе котораго и дастъ корень достаточной точности, а именно:

$$x_г = -\frac{3257{,}55}{4383{,}95} = -0{,}74\,,$$

что весьма мало отличается отъ истиннаго значенія $x_г = -0{,}747$.

Такъ же точно опредѣлимъ корень ($x_в$) изъ простѣйшаго уравненія

$$1308{,}94\,x + 812{,}91 = 0,$$

$$\text{откуда } x_в = -\frac{812{,}91}{1308{,}94} = -0{,}62\,,$$

т. е., такое же рѣшеніе, какое имѣли изъ точнаго уравненія $3{,}75\,x^2 + 1308{,}94\,x + 812{,}91 = 0$.

II. Возьмемъ примѣръ проектированія полотна въ ровной мѣстности и того же нормальнаго типа, какъ и ранѣе, но съ перемѣнными откосами, т. е.—въ предположеніи, что выемка до глубины въ 1,17 саж. [1]) разбирается по верху до 8 саж., насыпь же свыше 3 саж. имѣетъ откосъ 1:1,75.

Для даннаго случая выраженіе насыпи какъ видѣли (18 bis) имѣетъ видъ:

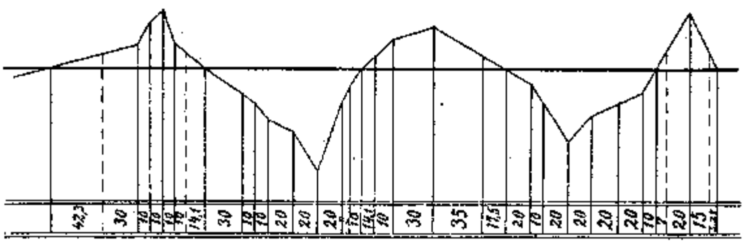
$$W_к{}^x = W_к + \left[3\Sigma p + 3{,}50\,\Sigma\varphi + \Sigma\,0{,}08\,\frac{l_k}{h_k}\right] x + \left[1{,}50\,\Sigma l + 1{,}75\Sigma L + \Sigma\,1{,}30\,\frac{l_k}{h_k}\right] x^2 + \\ + \Sigma\,0{,}50\,\frac{l_k}{h_k}\,x^3;$$

[1]) Соотвѣтствующей ширинѣ по верху = 8,00 саж.

а выраженіе выемки, въ предположеніи $a_v = 2{,}25$ с. и $c_v = 1{,}50$ будетъ (см. 27'):

$$W_v{}^x = W_v - \left[6{,}25\,\Sigma l + 3\Sigma p + \Sigma\, 0{,}27\,\frac{l_k}{h_k}\right]x + \left[1{,}50\Sigma L + 3{,}125\,\Sigma\,\frac{l_k}{h_k} + \right.$$

$$\left. + \; 0{,}875\;\Sigma\,\frac{L_k}{H_k - 1{,}17}\right]x^2 - 0{,}50\;\Sigma\,\frac{L_k}{H_k - 1{,}17}\,x^3.$$



Фиг. 11.

Какъ и въ предыдущемъ случаѣ выпишемъ въ особыхъ табличкахъ всѣ данныя для составленія выраженій насыпей и выемокъ, проектированныхъ на данномъ участкѣ продольнаго профиля (фиг. 11).

Первая выемка.

l или L	h	h + c	($h_1 + h_2 + 2c$)	V	6,25 l и 3 p	$\frac{l_k}{h_k}$ и $\frac{L_k}{H_k - 1{,}17}$	1,50 L
	0,00	0,00					
42,30			1,17	166,24	264,38	36,15	—
		1,17					
	1,17						
		2,67					
30			6,17	337,50	277,66	36,15	45,00
	2,00	3,50					
10			9,00	277,60	135,00	—	15,00
	4,00	5,50					
10			12,00	510,10	180,00	—	15,00
	5,00	6.50					
10			10,00	355,10	150,00	—	15,00
	2,00	3,50					
10			6,17	112,50	92,56	12,05	15,00
		2,67					
	1,17						
		1,17					
14,10			1,17	55,41	88,13	12,05	—
	0,00	0,00					
			ИТОГО . .	1814,45	1187,73	—	105,00

Вторая выемка.

	0,00	0,00					
14,10			1,17	55,41	88,13	12,05	—
		1,17					
	1,17						
		2,67					
10			6,17	112,50	92,56	12,05	15,00
	2,00	3,50					
30			8,50	727,80	382,50	—	45,00
	3,50	5,00					
35			7,67	687,05	402,66	15,00	52,50
		2,67					
	1,17						
		1,17					
17,50			1,17	68,78	109,38	15,00	—
	0,00	0,00					
			ИТОГО	1651,54	1075,23	—	112,50

Третья выемка.

	0,00	0,00					
7			1,17	27,51	43,75	6,00	—
		1,17					
	1,17						
		2,67					
20			8,87	529,20	260,10	6,00	30,00
	4,50	6,00					
15			8,87	396,90	195,08	4,50	22,50
		2,67					
	1,17						
		1,17					
5,27			1,17	20,71	32,94	4,50	—
	0,00	0,00					
			ИТОГО	974,32	531,87	—	52,50
			ВСЕГО	4440,31	2794,83	—	270,00

Выраженіе выемки будетъ слѣдовательно:

$$W_v{}^x = 4440{,}31 - [2794{,}83 + 0{,}27\,.\,(85{,}75)]\,x + [270{,}00 + 3{,}125\,(85{,}75) + 0{,}875\,(85{,}75)]\,x^2 - 0{,}50\,(85{,}75)\,x^3,$$

$$\text{или } (W_v)^x = 4440{,}31 - 2818{,}41\,x + 613{,}55\,x^2 - 42{,}87\,x^3.$$

Первая насыпь.

l или L	h	(h + c)	($h_1 + h_2 + 2c$)	V	3 p и 3,5 P	$\frac{l_k}{h_k}$	1,50 l и 1,75 L
	0,00	0,87					
30			3,74	140,70	168,30	15,00	45,00
	2,00	2,87					
10			6,74	160,90	101,10	—	15,00
		3,87					
	3,00						
		3,31					
10			7,62	277,40	133,33	—	17,50
	4,00	4,31					
20			9,62	856,20	336,70	—	35,00
	5,00	5,31					
20			14,62	1960,40	511,70	—	35,00
	9,00	9,31					
20			12,62	1542,20	441,70	—	35,00
		3,31					
	3,00						
		3,87					
5			6,24	69,10	46,80	—	7,50
	1,50	2,37					
10			3,24	31,60	48,60	6,67	15,00
	0,00	0,87					
			ИТОГО	5038,50	1788,23	21,67	205,00

Вторая насыпь.

	0,00	0,87					
20			3,24	63,20	97,20	13,33	30,00
	1,50	2,37					
10			6,24	138,20	93,60	—	15,00
		3,87					
	3,00						
		3,31					
20			9,62	879,60	336,70	—	35,00
	6,00	6,31					
20			10,62	1042,20	371,70	—	35,00
	4,00	4,31					
20			7,62	554,80	266,70	—	35,00
		3,31					
	3,00						
		3,87					

	3.00	3,87					
20			6,74	322,20	202,20	—	30,00
	2,00	2,87					
10			3,74	46,90	56,10	5,00	15,00
	0,00	0,87					
			ИТОГО	3017,10	1424,20	18,33	195,00
			ВСЕГО	8085,60	3212,43	40,00	400,00

Общее выраженіе насыпи будетъ слѣдовательно:

$$(W_N)^x = 8085,60 + 3213,44\ x + 451,71\ x^2 + 24,17\ x^3.$$

Опредѣлимъ сначала x_r, при которомъ достигается транспортность.

Изъ уравненія $(W_N)^x - (W_v)^x = 0$, т. е.:

$$67,04\ x^3 - 161,84\ x^2 + 6031,85\ x + 3645,29 = 0$$

находимъ $x_r = \infty - 0,59$;

округляя корень до $x_r = -0,60$ и подставляя въ $(W_N)^x$ и $(W_v)^x$ получимъ слѣдующія количества земляныхъ работъ:

$$\text{насыпи: } 8085,60 - 1928,07 + 162,62 - 5,22 = 6314,93 \text{ кб. с.}$$
$$\text{и выемки: } 4440,31 + 1691,05 + 220,88 + 9,26 = 6361,50 \text{ кб. с.}$$

Minimum земляныхъ работъ найдемъ, приравнивая нулю первую производную отъ суммы

$$(W_N)^x + (W_v)^x,$$

т. е. рѣшая уравненіе:

$$56,10\ x^2 - 2130,52\ x - 395,03 = 0,$$

откуда

$$x_s = \infty - 0,19 \text{ с.};$$

взявъ округленно $x_s = -0,20$ получимъ:

$$(W_N)^x + (W_v)^x = 12525,91 - 79,01 + 42,61 + 0,15 = 12489,36 \text{ кб. с.}$$

Чтобы убѣдиться въ правильности выведенныхъ формулъ, которыми пользовались въ данномъ примѣрѣ, сдѣлаемъ подробный подсчетъ при новомъ положеніи проекта.

Первая выемка.			Вторая выемка.			Третья выемка.		
l	h	v	l	h	v	l	h	v
	0,00			0,00			0,00	
42,30		166,24	14,10		55,41	7		27,51
	1,17			1,17			1,17	
21,70		220,47	7,23		73,46	3,60		36,58
	1,77			1,77			1,77	

30	1,77	520,20	10	1,77	173,40	20	1,77	696,00
10	2,60	364,00	30	2,60	973,50	15	5,10	522,00
10	4,60	623,50	35	4,10	947,45	2,70	1,77	27,43
10	5,60	450,50	9	1,77	91,44	5,27	1,17	20,71
10	2,60	173,40	17,50	1,17	68,78		0,00	
7,23	1,77	73,46		0,00				
14,10	1,17	55,41						
	0,00							
ИТОГО . .		2647,18	—	—	2383,44	—	—	1330,23

Первая насыпь.			(Продолженіе)			Вторая насыпь.		
l	h	v	l	h	v	l	h	v
							0,00	
	0,00			4,40		12		19,92
							0,90	
21		60,90	20		1666,20	10		87,50
							2,40	
	1,40			8,40		4		72,44
							3,00	
10		105,80	18		1253,70	16		618,24
							5,40	
	2,40			3,00		20		830,60
							3,40	
6		108,66	2		36,22	8		190,40
							3,00	
	3,00			2,40		12		217,32
							2,40	
4		95,20	5		43,75	20		211,60
							1,40	
	3,40			0,90		7		20,30
							0,00	
20		666,80	6		9,96			
	4,40			0,00				
			ИТОГО . . .		4047,19	ИТОГО		2268,32

а всего выемки 6360,85 кб. с. и

насыпи 6315,51 кб. с., что совершенно согласно съ полученными ранѣе цифрами.

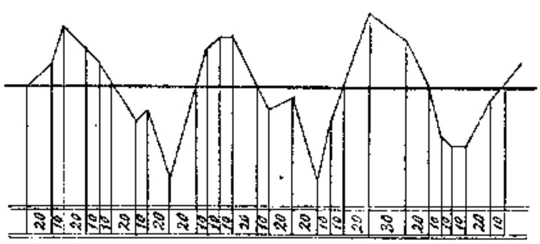
Опредѣляя корни (x_r) и (x_s) упрощеннымъ расчетомъ слѣдуетъ только рѣшить уравненія:

1)
$$6031{,}85\,x + 3645{,}29 = 0,$$
откуда
$$x_r = -\,0{,}60$$

и 2)
$$2130{,}52\,x + 395{,}03 = 0,$$
откуда
$$x_s = -\,019.$$

Такимъ образомъ и данный примѣръ подтверждаетъ цѣлесообразность ускореннаго способа рѣшеній.

III. Опредѣлимъ теперь положеніе проектной линіи на фиг. 12 въ случаѣ косогоровъ при нормальныхъ профиляхъ полотна съ постояннымъ откосомъ 1 : 1,50.



Фиг. 12.

Выпишемъ всѣ данныя выраженій 7 и 8 въ слѣдующихъ табличкахъ.

Первая выемка.

l	h	Уклонъ (tg α)	f	(h+c)	(h_1+h_2+2c)	V	2pf	lf	$\frac{l_k}{h_k}$	$\frac{l_k}{h_k} f_k$
	0,00	0,30		1,50						
20			2,07		5,00	220,00	207,00	41,40	10,00	20,70
	2,00	0,40		3,50						
10			2,07		10,00	494,20	207,00	20,70	—	—
	5,00	0,30		6,50						
20			1,88		11,00	1088,20	413,60	37,60	—	—
	3,00	0,30		4,50						
10			1,75		8,00	252,40	140,00	17,50	—	—
	2,00	0,20		3,50						
10			1,65		5,00	77,50	82,50	16,50	5,00	8,25
	0,00	0,20		1,50						
					ИТОГО	2132,30	1050,10	133,70	15,00	28,95

Вторая выемка.

	0,00	0,30		1,50						
10			2,07		6,00	179,40	124,20	20,70	3,33	6,90
	3,00	0,40		4,50						
10			2,34		10,00	556,70	234,00	23,40	—	—
	4,00	0,40		5,50						
10			1,99		11,00	576,70	218,90	19,90	—	—
	4,00	0,26		5,50						
20			1,70		7,00	406,80	238,00	34,00	5,00	8,50
	0,00	0,20		1,50						
				ИТОГО		1719,60	815,10	98,00	8,33	15,40

Третья выемка.

	0,00	0,30		1,50						
20			2,07		9,00	950,60	372,60	41,40	3,33	6,90
	6,00	0,40		7,50						
30			2,76		13,00	3413,40	1076,40	82,80	—	—
	4,00	0,50		5,50						
20			2,76		7,00	751,00	386,40	55,20	5,00	13,80
	0,00	0,40		1,50						
				ИТОГО		5115 00	1835,40	179,40	8,33	20,70
				ВСЕГО		8966,90	3700,60	411,10	31,66	65,05

Первая насыпь.

l	h	Уклонъ ($tg\,\alpha$)	φ	$(h+c)$	(h_1+h_2+2c)	V	$2p\varphi$	$l\varphi$	$\frac{l_k}{h_k}$	$\frac{l_k}{h_k}\varphi$
	0,00	0,20		0,87						
20			1,58		4,74	176,60	149,78	31,60	6,67	10,54
	3,00	0,10		3,87						
10			1,56		6,74	166,90	105,14	15,60	—	—
	2,00	0,16		2,87						
20			1,62		11,74	1198,20	380,38	32,40	—	—
	8,00	0,20		8,87						
20			1,75		9,74	968,20	340,90	35,00	2,50	4,38
	0,00	0,30		0,87						
				ИТОГО		2509,90	976,20	114,60	9,17	14,92

Вторая насыпь.

	0,00	0,20		0,87						
10			1,58		3,74	49,40	59,10	15,80	5,00	7,90
	2,00	0,10		2,87						
20			1,54		4,74	154,20	146,00	30,80	—	—
	1,00	0,12		1,87						
20			1,58		10,74	1028,60	339,38	31,60	—	—
	8,00	0,18		8,87						
10			1,63		12,74	684,50	207,66	16,30	—	—
	3,00	0,20		3,87						
10			1,75		4,74	98,40	82,94	17,50	3,33	5,83
	0,00	0,30		0,87						
				ИТОГО		2015,10	835,08	112,00	8,33	13,73

Третья насыпь.

	0,00	0,40		0,87						
10			2,34		5,74	213,70	134,32	23,40	2,50	5,85
	4,00	0,40		4,87						
10			2,07		10,74	588,10	222,32	20,70	—	—
	5,00	0,30		5,87						
10			1,88		11,74	637,30	220,72	18,80	—	—
	5,00	0,30		5,87						
20			1,88		7,74	592,40	291,03	37,60	—	—
	1,00	0,30		1,87						
10			1,88		2,74	26,40	51,50	18,80	10,00	18,80
	0,00	0,30		0,87						
				ИТОГО		2057,90	919,89	119,30	12,50	24,65
				ВСЕГО		6582,90	2731,17	345,90	30,00	53,30

Такимъ образомъ находимъ выраженія объемовъ выемки:

$$(V_v)^x = 8966{,}90 - 3748{,}50\,x + 508{,}68\,x^2 - 21{,}68\,x^3$$

и насыпи

$$(V_n)^x = 6582{,}90 + 2745{,}05\,x + 392{,}26\,x^2 + 17{,}76\,x^3.$$

Рѣшая вопросъ о транспортности опредѣлимъ (x_r). Приравнивая нулю $[(V_n)^x - (V_v)^x]$ получимъ уравненіе:

$$39{,}44\,x^3 - 116{,}42\,x^2 + 6493{,}55\,x - 2384{,}00 = 0,$$

откуда

$$x_r = \infty + 0{,}37.$$

Подымая проектъ округленно на 0,35, найдемъ слѣдующія количества земляныхъ работъ:

насыпи . . . 7591,42 к. с.
и выемки . . . 7715,04 к. с. [1]),

а всего . . . 15306,46 к. с., т. е. получимъ еще экономіи

[1]) Небольшая разница въ кубатурахъ обусловлена округленностью корня.

$$15549,80 - 15306,46 = 243,34 \text{ кб. с.}$$

на взятой верстѣ.

При выводѣ формулъ въ предположенiи косогоровъ нами сдѣлано было допущенiе, въ силу котораго во всѣхъ неизвѣстныхъ членахъ выраженiй принятъ общiй среднiй поперечный склонъ на протяженiи каждаго отдѣльнаго призматоида;

чтобы провѣрить, какъ отражается это допущенiе на точности полученныхъ сейчасъ результатовъ, произведемъ новый подсчетъ (напр., выемокъ) при измѣненномъ положенiи проектной линiи.

Первая выемка.

l	h	tgα	f	v
	0,00	0,30	1,88	
16,50			2,07	147,51
	1,65	0,40	2,34	
10			2,07	424,50
	4,65	0,30	1,88	
20			1,88	947,40
	2,65	0,30	1,88	
10			1,75	205,50
	1,65	0,20	1,65	
8,25			1,65	50,99
	0,00	0,20	1,65	
			ИТОГО . .	1775,90

Вторая выемка.

l	h	tgα	f	v
	0,00	0,30	1,88	
8,83			2,07	135,28
	2,65	0,40	2,34	

(Продолженiе)

l	h	tgα	f	v
	2,65	0,40	2,34	
10			2,34	476,80
	3,65	0,40	2,34	
10			1,99	502,40
	3,65	0,26	1,77	
18,25			1,70	326,13
	0,00	0,20	1,65	
			ИТОГО	1440,61

Третья выемка.

l	h	tgα	f	v
	0,00	0,30	1,88	
18,83			2,07	816,28
	5,65	0,40	2,34	
30			2,76	3047,10
	3,65	0,50	3,43	
18,25			2,76	606,75
	0,00	0,40	2,34	
			ИТОГО	4470,13

Всего выемки по подсчету, слѣдовательно 7686,64 кб. с., т. е. на

$$(7715{,}04 - 7686{,}64) = 28{,}40 \text{ кб. с. менѣе}$$

количества, опредѣленнаго непосредственно по формулѣ.

Въ виду взятаго нами слишкомъ исключительнаго случая значительныхъ крутизны и разности ея въ смежныхъ поперечныхъ склонахъ подобную погрѣшность, составляющую къ тому-же около $0{,}4\%$ истиннаго объема, можно считать ничтожной.

Minimum кубатуры опредѣлится, какъ извѣстно, уже изъ уравненія:

$$[(V_n)^x + (V_v)^x]' = [-3{,}92\, x^3 + 900{,}94\, x^2 - 1003{,}45\, x + 15549{,}80]' = 0,$$

или

$$11{,}76\, x^2 - 1801{,}88\, x + 1003{,}45 = 0,$$

откуда

$$x_в = \infty + 0{,}56.$$

Взявъ округленно 0,55 и подставляя въ выраженіе суммы работъ, получимъ 15267,51 кб. с., т. е. на

$$(15549{,}80 - 15267{,}51) = 282{,}29 \text{ кб. с. менѣе}$$

первоначальной кубатуры и только на 38,95 кб. с. менѣе количества, получаемаго при транспортности.

Какъ и въ предыдущихъ примѣрахъ, ускоренное отысканіе рѣшеній ($x_г$) и ($x_в$) основывается на упрощенныхъ уравненіяхъ:

$$6493{,}55\, x - 2384{,}00 = 0,$$

откуда

$$x_г = \infty\, 0{,}37$$

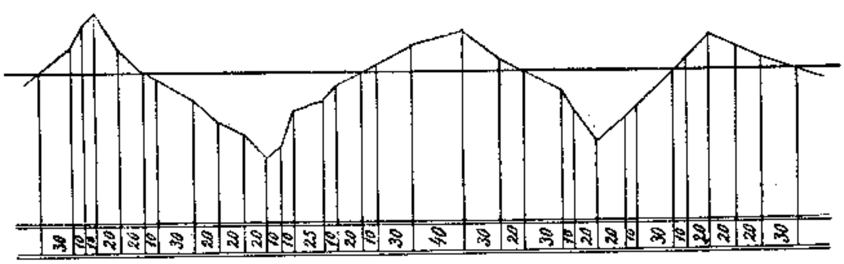
и

$$1801{,}88\, x - 1003{,}45 = 0,$$

откуда

$$x_в = \infty\, 0{,}56.$$

IV. Обращаемся, наконецъ, къ примѣру расчета на основаніи однихъ поперечныхъ профилей, изображенныхъ ниже въ порядкѣ, соотвѣтствующемъ продольному профилю (фиг. 13).



Фиг. 13.

Имѣя въ виду все то, что говорилось въ § (3), возьмемъ относящіяся къ данному случаю выраженія:

$$(V_v)^x = V_v - \left[\Sigma \left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right) l + \frac{k}{3} \Sigma \frac{l_k}{h_k} \right] x + \left[\Sigma \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}\right) l + \Sigma \frac{\tau_k l_k}{2} \right] x^2 - $$
$$- \Sigma \frac{\tau_k l_k}{3h_k} x^3 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (45 \text{ bis})$$

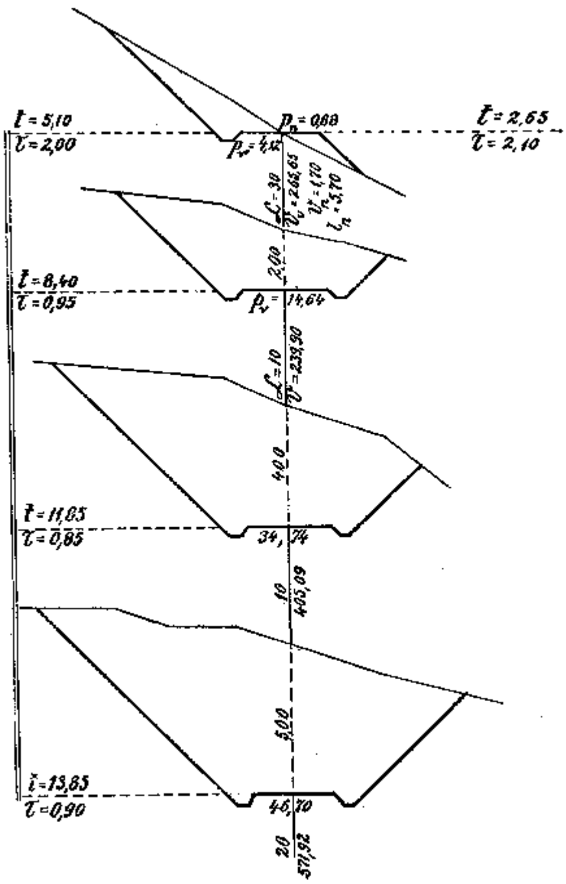
и

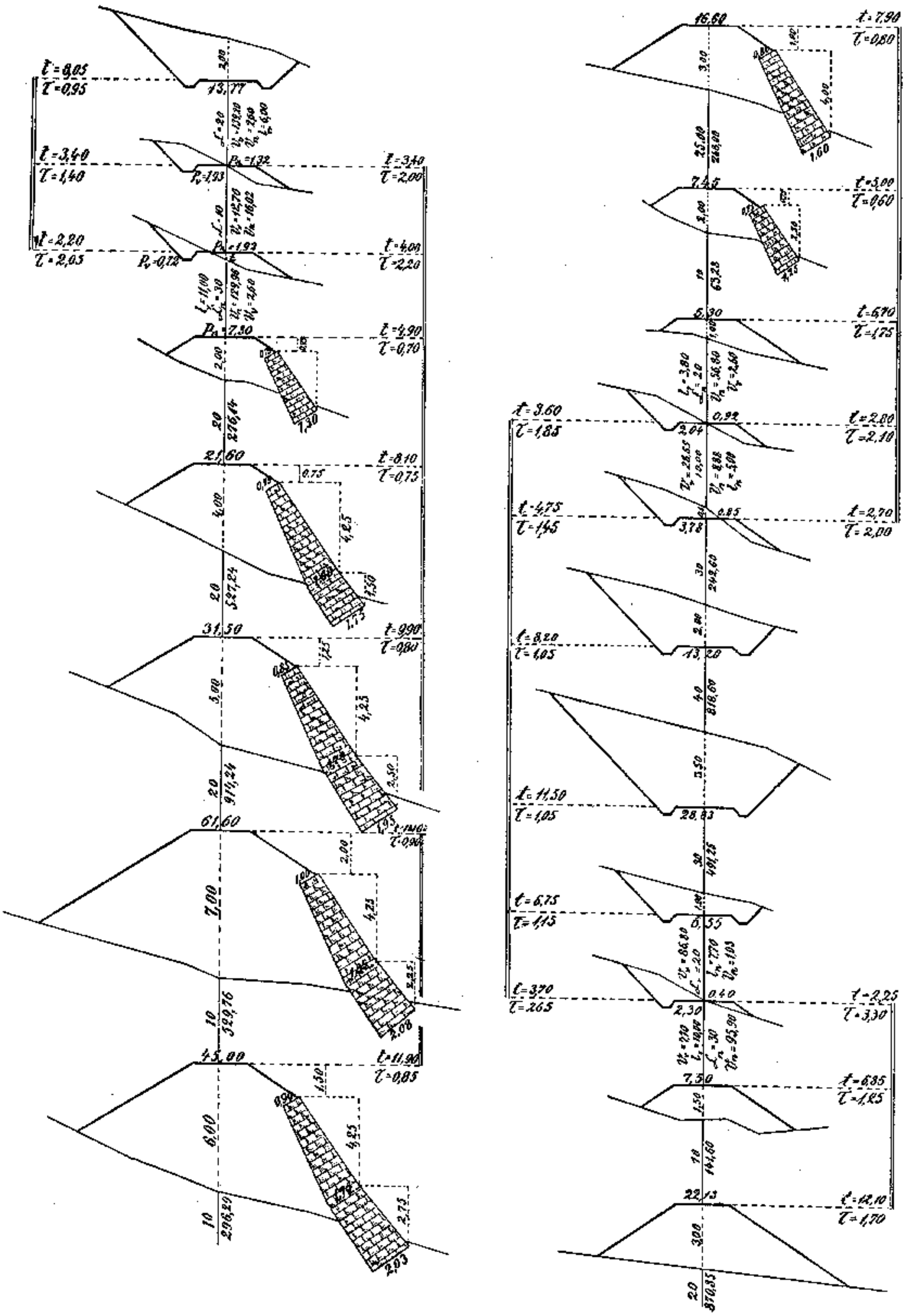
$$(V_n)^x = V_n + \left[\Sigma \left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right) l \right] x + \left[\Sigma \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}\right) l + \Sigma \frac{\tau_k l_k}{2} \right] x^2 + \Sigma \frac{\tau_k l_k}{3h_k} x^3 \ldots (42 \text{ bis}).$$

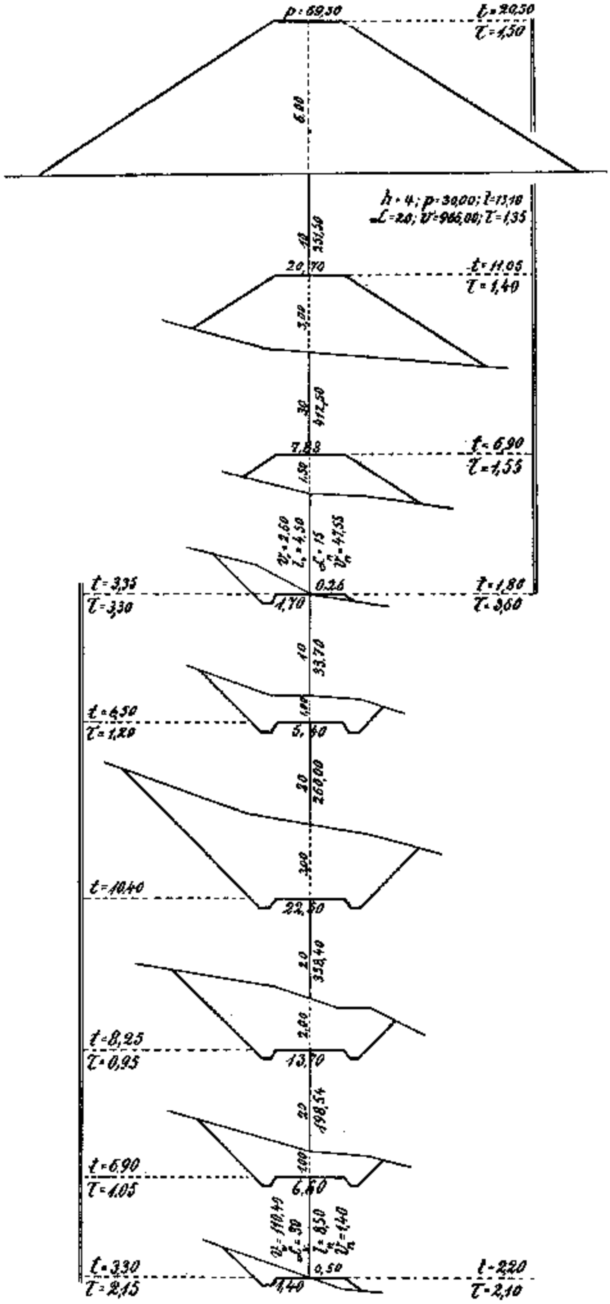
Всѣ значенія h, l, v, t и τ выписаны у поперечныхъ профилей; объемы v опредѣлены съ помощью призматы по формулѣ

$$v = (P_1 + P_2) k \,.\, l.$$

Слѣдуя принятому порядку составимъ таблички значеній отдѣльныхъ членовъ вышенаписанныхъ выраженій.






p=69,50
t=20,50
T=1,50
6,00
h=4; p=30,00; l=13,10
L=20; V=966,00; T=1,35
20,70
t=11,05
T=1,40
t=6,90
T=1,55
t=3,35
T=3,30
t=1,80
T=3,60
0,26
1,70
t=6,50
T=1,20
t=10,40
22,50
t=8,25
T=0,95
13,70
t=6,90
T=1,05
6,60
t=3,30
T=2,15
0,50
1,40
t=2,20
T=2,10

Первая выемка.

l	h	P	V	$\frac{(t_1+t_2)}{2}.l$	$0{,}06\frac{l_k}{h_k}$	$\frac{(\tau_1+\tau_2)}{2}.l$	$\frac{\tau_k l_k}{2}$	$\frac{\tau_k}{3h_k}.l_k$
	0,00	4,12						
30			265,65	202,50	—	44,25	—	—
	2,00	14,64						
10			239,90	101,25	—	9,00	—	—
	4,00	34,74						
10			405,09	128,50	—	8,75	—	—
	5,00	46,70						
20			571,92	219,00	—	18,50	—	—
	2,00	13,77						
20			139,20	114,50	—	23,50	—	—
	0,00	1,93						
10			12,70	28,00	—	17,25	—	—
	$h_k=0{,}52$[1])	0,72						
11			2,60	12,10	1.27	11,28	11,28	14,45
	—	0,00						
	ИТОГО . . .		1637,06	805,85	1,27	132,53	11,28	14,45

Вторая выемка.

	—	0,00						
3,80			2,60	6,84	0,22	3,53	3,53	2,24
	$h_k=1{,}05$	2,04						
10			28,65	41,75	—	16,50	—	—
	0,50	3,78						
30			242,60	194,25	—	37,50	—	—
	2,00	13,20						
40			818,60	394,00	—	42,00	—	—
	3,50	28,83						
30			491,25	273,75	—	33,00	—	—
	1,00	6,55						
20			86,80	104,50	—	38,00	—	—
	$h_k=1{,}20$	2,30						
10			7,70	18,50	0,50	13,25	13,25	22,07
	—	0,00						
	ИТОГО . . .		1678,20	1033,59	0,72	183,78	16,78	24,31

[1]) См. относящееся къ фиг. 10 въ § 3.

Третья выемка.

	—	0,00						
4,50			2,60	7,56	0,27	7,43	7,43	4,95
	$h_k = 1,00$	1,70						
10			33,70	49,25	—	22,50	—	—
	1,00	5,40						
20			260,00	169,00	—	22,00	—	—
	3,00	22,50						
20			358,40	186,50	—	19,50	—	—
	2,00	13,70						
20			198,54	151,50	—	20,00	—	—
	1,00	6,60						
30			110,40	153,00	—	48,00	—	—
	0,00	1,40						
	ИТОГО . .		963,64	716,81	0,27	139,43	7,43	4,95
	ВСЕГО . . .		4278,90	2556,25	2,26	455,74	35,49	43,71

Первая насыпь.

l	h	P	V	$\Sigma\frac{(t_1+t_2)}{2}.l$	$\Sigma\frac{(\tau_1+\tau_2)}{2}.l$	$\frac{\tau_k}{2}.l_k$	$\frac{\tau_k}{3h_k}.l_k$
	—	0,00					
6			2,60	10,20	6,00	6,00	5,00
	$h_k = 0,80$	1,32					
10			16,02	37,00	21,00	—	—
	0,40	1,92					
30			129,96	133,50	43,50	—	—
	2,00	7,30					
20			276,14	130,00	14,50	—	—
	4,00	21,60					
20			527,24	180,00	15,50	—	—
	5,00	31,50					
20			914,24	245,00	17,00	—	—
	7,00	61,60					
10			529,70	132,50	8,75	—	—
	6,00	45,00					
10			296,29	99,00	8,25	—	—
	3,00	16,60					
25			268,00	161,25	17,50	—	—
	2,00	7,45					

	2,00	7,45					
10							
	1,00	5,30	63,28	58,50	11,75	—	—
20							
	0,00	0,92	56,80	95,00	38,50	—	—
10							
	$h_k = 0{,}45$	0,85	8,88	27,50	20,50	—	—
5							
	—	0,00	1,42	7,00	5,25	5,25	7,77
	ИТОГО . . .		3090,57	1316,45	228,00	11,25	12,77

Вторая насыпь.

	—	0,00					
7,70			1,03	8,70	12,71	12,71	24,20
	$h_k = 0{,}35$	0,40					
30			95,90	136,50	68,25	—	—
	1,50	7,50					
10			141,60	94,75	14,75	—	—
	3,00	22,13					
20			870,35	326,00	32,00	—	—
	6,00	69,30					
20			966,00	336,00	28,50	—	—
	4,00	30,00					
10			251,50	120,75	13,75	—	—
	3,00	20,70					
30			412,50	269,25	44,25	—	—
	$1{,}50 = h_k$	7,83					
15			47,55	51,75	11,63	11,63	5,17
	0,00	0,00 *)					
	ИТОГО . . .		2786,43	1343,70	225,84	24,34	29,17
	ВСЕГО . . .		5877,00	2660,15	453,84	35,59	41,94

Такимъ образомъ будемъ имѣть слѣдующія выраженія объемовъ выемокъ и насыпей:

$$(V_v)^x = 4278{,}90 - 2558{,}51\,x + 491{,}23\,x^2 - 43{,}71\,x^3,$$

и

$$(V_n)^x = 5877{,}00 + 2660{,}15\,x + 489{,}43\,x^2 + 41{,}94\,x^3.$$

---

*) За малостью принято $= 0$.

Значеніе (x_r) находимъ изъ уравненія

$$(V_n)^x - (V_v)^x = 0,$$

или

$$1598,10 + 5218,66\,x - 1,80\,x^2 + 85,65\,x^3 = 0$$

откуда

$$x_r = \infty - 0,31;$$

взявъ округленно $x_r = -0,30$ и подставляя это значеніе въ выраженія $(V_n)^x$ и $(V_v)^x$ получимъ слѣдующія количества транспортныхъ работъ:

насыпи

$$5877,00 - 798,05 + 43,89 - 1,08 = 5122,42 \text{ кб. с.}$$

и выемки

$$4278,90 + 767,55 + 44,05 + 1,13 = 5091,63.$$

Найдемъ теперь (x_s) изъ уравненія

$$[(V_n)^x + (V_v)^x]' = 0,$$

т. е.

$$[10155,90 + 101,64\,x + 980,66\,x^2 - 1,77\,x^3]' = 0$$

или

$$3,54\,x^2 - 1961,32\,x - 101,64 = 0,$$

откуда

$$x_s = \infty - 0,05.$$

Значеніе это настолько мало, что можно за minimum принять первоначальную кубатуру, а именно

$$5877,00 + 4278,90 = 10155,90 \text{ кб. с.}$$

Полученное рѣшеніе показываетъ, что при транспортности, наступающей при $x_r = -0,31$ экономіи въ кубатурѣ не можетъ быть.

Какъ предыдущіе, такъ и данный примѣръ подтверждаетъ, что значенія (x_r) и (x_s) можно найти изъ упрощенныхъ уравненій:

$$1)\ \ 1598,10 + 5218,66\,x = 0,$$

откуда

$$x_r = -0,305 = \infty - 0,31;$$

$$\text{и } 2)\ 1961,32\,x + 101,64 = 0,$$

откуда

$$x_s = -0,05.$$

---

b) Отысканіе транспортности способомъ неопредѣленныхъ коэффиціентовъ.

Приведемъ здѣсь еще одинъ весьма удобный способъ отысканія x_r (транспортности).

Изъ данныхъ выше примѣровъ мы достаточно убѣдились въ томъ, что величина (x_r) можетъ быть найдена изъ упрощенныхъ уравненій, заключающихъ неизвѣстное (x) лишь въ первой степени, т. е.

$$\left.\begin{aligned} (V_n)^x &= a_n + b_n\,x \\ \text{и } (V_v)^x &= a_v - b_v\,x \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (55).$$

Такъ какъ (a_n) и (a_v) представляютъ кубатуру при первоначальномъ подсчетѣ, т. е. (V_n) и (V_v), то выраженія (55) можно написать еще такъ:

$$\left.\begin{aligned} (V_n)^x &= V_n + b_n x \\ \text{и } (V_v)^x &= V_v - b_v x \end{aligned}\right\} \dots\dots\dots\dots \quad (55').$$

Превышеніе одного изъ количествъ (V_n, V_v) надъ другимъ прежде всего указываетъ намъ, въ какую сторону слѣдуетъ перемѣстить проектную линію, чтобы достичь транспортности; соотвѣтственно съ этимъ задаемся произвольно въ вѣроятныхъ предѣлахъ положительнымъ или отрицательнымъ значеніемъ (x), напр., принимаемъ $x = \alpha$, и подсчитываемъ при этомъ значеніи кубатуры $(V_n)^x$ и $(V_v)^x$; пусть онѣ окажутся равными

$$(V_n)^\alpha \text{ и } (V_v)^\alpha .$$

Подставляя ихъ, какъ и величину $x = \alpha$, въ выраженіе (55′) получимъ уравненія:

$$(V_n)^\alpha = V_n + b_n \alpha \dots\dots\dots\dots (56)$$

$$\text{и } (V_v)^\alpha = V_v - b_v \alpha, \dots\dots\dots\dots (57)$$

изъ которыхъ легко находимъ значенія:

$$\left.\begin{aligned} b_n &= \frac{(V_n)^\alpha - V_n}{\alpha} = \beta_n \\ \text{и } b_v &= \frac{V_v - (V_v)^\alpha}{\alpha} = \beta_v \end{aligned}\right\} \dots\dots\dots\dots (58).$$

Опредѣливъ коэффиціенты (β_n) и (β_v) находимъ общее выраженіе объемовъ:

насыпи

$$(V_n)^x = V_n + \beta_n x \dots\dots\dots\dots (59)$$

и выемки

$$(V_v)^x = V_v - \beta_v x, \dots\dots\dots\dots (60)$$

рѣшая которыя по извѣстному правилу получаемъ искомый корень (x_r).

Примѣнимъ этотъ способъ къ одному изъ вышеприведенныхъ примѣровъ, напр., I-му.

Первоначальный подсчетъ далъ намъ:

выемки . . 3284,17 кб. с. = (V_v)

и насыпи . . 6541,72 кб. с. = (V_n).

Соотношеніе $6541,72 > 3284,17$ ясно указываетъ, что для достиженія транспортности придется **опустить** проектную линію;

задаваясь поэтому значеніемъ $x = \alpha = -1,00$, пересчитаемъ отмѣтки и крайнія разстоянія, послѣ чего сдѣлаемъ новый подсчетъ объемовъ; такимъ образомъ будемъ имѣть:

Первая выемка.

l	h	(h+c)	(h_1+h_2 + 2 c)	V
	0,00	1,50		
22,50			6,00	259,09
	3,00	4,50		
10			11,00	427,65
	5,00	6,50		
20			11,00	855,32
	3,00	4,50		
10			8,50	240,15
	2,50	4,00		
16,67			5,50	150,28
	0,00	1,50		

Вторая выемка.

l	h	(h+c)	(h_1+h_2 + 2 c)	V
	0,00	1,50		
7,50			6,00	86,36
	3,00	4,50		
5			10,00	172,58
	4,00	5,50		
10			12,00	510,15
	5,00	6,50		
25			8,00	600,38
	0,00	1,50		

Третья выемка.

l	h	(h+c)	(h_1+h_2 + 2 c)	V
	0,00	1,50		
30			9,00	952,95
	6,00	7,50		
20			12,00	1040,30
	3,00	4,50		
7,50			6,00	86,30
	0,00	1,50		
			ВСЕГО . . .	5381,57

Первая насыпь.

l	h	(h+c)	(h_1+h_2 + 2 c)	V
	0,00	0,87		
13,33			3,74	62,62
	2,00	2,87		
15			4,74	112,53
	1,00	1,87		
25			9,74	975,68
	7,00	7,87		
17,50			8,74	590,12
	0,00	0,87		

Вторая насыпь.

l	h	(h+c)	(h_1+h_2 + 2 c)	V
	0,00	0,87		
5			2,74	9,46
	1,00	1,87		
15			2,74	28,37
	0,00	0,87		
15			8,74	505,82
	7,00	7,87		
35			8,74	1180,24
	0,00	0,87		

Третья насыпь.

l	h	(h+c)	(h_1+h_2 + 2 c)	V
	0,00	0,87		
7,50			4,74	63,75
	3,00	3,87		
10			8,74	277,21
	4,00	4,87		
10			9,74	345,27
	4,00	4,87		
10			5,74	133,06
	0,00	0,87		
0,00				0,00
	—1,00			
			ВСЕГО . . .	4284,13

т. е. $(V_в)^a = 5381,57$ кб. с. и

$(V_н)^a = 4284,13$ кб. с.

Обращаясь къ уравненіямъ (58) находимъ:

$$b_v = \beta_v = \frac{V_v - (V_v)^\alpha}{\alpha = -1} = 3284{,}17 - 5381{,}57 = + 2097{,}40;$$

$$b_n = \beta_n = \frac{(V_n)^\alpha - V_n}{\alpha = -1} = \frac{4284{,}13 - 6541{,}72}{-1} = + 2257{,}59;$$

слѣдовательно общія выраженія объемовъ будутъ:

$$(V_v)^x = 3284{,}17 - 2097{,}40\ x,$$

$$\text{и } (V_n)^x = 6541{,}72 + 2257{,}59\ x.$$

Отыскивая (x_r) рѣшаемъ уравненіе

$$(V_n)^x - (V_v)^x = 0,$$

т. е.:

$$3257{,}55 + 4354{,}99\ x = 0,$$

откуда

$$x_r = -\frac{3257{,}55}{4354{,}99} = \infty - 0{,}74.$$

Какъ видимъ и этотъ способъ даетъ желаемый результатъ.

Къ отдѣлу земляныхъ работъ.

Таблица

значеній $\frac{l_k}{h_k}$.

h \ l	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 00									
01	100,000	200,000	300,000	400,000	500,000	600,000	700,000	800,000	900,000
02	50,000	100,000	150,000	200,000	250,000	300,000	350,000	400,000	450,000
03	33,333	66,666	99,999	133,332	166,665	199,998	233,331	266,664	299,997
04	25,000	50,000	75,000	100,000	125,000	150,000	175,000	200,000	225,000
05	20,000	40,000	60,000	80,000	100,000	120,000	140,000	160,000	180,000
06	16,667	33,334	50,001	66,667	83,334	100,000	116,668	133,335	150,002
07	14,286	28,572	42,858	57,144	71,430	85,716	100,002	114,288	128,574
08	12,500	25,000	37,500	50,000	62,500	75,000	87,500	100,000	112,500
09	11,111	22,222	33,333	44,444	55,555	66,666	77,777	88,888	99,999
0 10	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000
11	9,091	18,182	27,273	36,364	45,455	54,546	63,637	72,728	81,819
12	8,333	16,666	24,999	33,332	41,665	49,998	58,331	66,664	74,997
13	7,692	15,384	23,076	30,768	38,460	46,152	53,844	61,536	69,228
14	7,143	14,286	21,429	28,572	35,715	42,858	50,001	57,144	64,287
15	6,667	13,334	20,001	26,668	33,335	40,002	46,669	53,336	60,003
16	6,250	12,500	18,750	25,000	31,250	37,500	43,750	50,000	56,250
17	5,882	11,764	17,646	23,528	29,410	35,292	41,174	47,056	52,938
18	5,556	11,112	16,668	22,224	27,780	33,336	38,892	44,448	50,004
19	5,263	10,526	15,789	21,052	26,315	31,578	36,841	42,104	47,367
0 20	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000
21	4,762	9,524	14,286	19,048	23,810	28,572	33,334	38,096	42,858
22	4,545	9,090	13,635	18,180	22,725	27,270	31,815	36,360	40,905
23	4,348	8,696	13,044	17,392	21,740	26,088	30,436	34,784	39,132
24	4,167	8,334	12,501	16,668	20,835	25,002	29,169	33,336	37,503
25	4,000	8,000	12,000	16,000	20,000	24,000	28,000	32,000	36,000
26	3,846	7,692	11,538	15,384	19,230	23,076	26,922	30,768	34,614
27	3,704	7,408	11,112	14,816	18,520	22,224	25,928	29,632	33,336
28	3,571	7,142	10,713	14,284	17,855	21,426	24,997	28,568	32,139
29	3,448	6,896	10,344	13,792	17,240	20,688	24,136	27,584	31,032
0 30	3,333	6,666	9,999	13,332	16,665	19,998	23,331	26,664	29,664
31	3,226	6,452	9,678	12,904	16,130	19,356	22,582	25,808	29,034
32	3,125	6,250	9,375	12,500	15,625	18,750	21,875	25,000	28,125
33	3,030	6,060	9,090	12,120	15,150	18,180	21,210	24,240	27,270
34	2,941	5,882	8,823	11,764	14,705	17,646	20,587	23,528	26,469
35	2,857	5,714	8,571	11,428	14,285	17,142	19,999	22,856	25,713
36	2,778	5,556	8,334	11,112	13,890	16,668	19,446	22,224	25,002
37	2,703	5,406	8,109	10,812	13,515	16,218	18,921	21,624	24,327
38	2,632	5,264	7,896	10,528	13,160	15,792	18,424	21,056	23,688
39	2,564	5,128	7,692	10,256	12,820	15,384	17,948	20,512	23,076
0 40	2,500	5,000	7,500	10,000	12,500	15,000	17,500	20,000	22,500
41	2,439	4,878	7,317	9,756	12,195	14,634	17,073	19,512	21,951
42	2,381	4,762	7,143	9,524	11,905	14,286	16,667	19,048	21,429
43	2,326	4,652	6,978	9,304	11,630	13,956	16,282	18,608	20,934
44	2,273	4,546	6,819	9,092	11,365	13,638	15,911	18,184	20,457
45	2,222	4,444	6,666	8,888	11,110	13,332	15,554	17,776	19,998
46	2,174	4,358	6,532	8,706	10,880	13,054	15,228	17,402	19,576
47	2,128	4,256	6,384	8,512	10,640	12,768	14,896	17,024	19,152
48	2,083	4,166	6,249	8,332	10,415	12,498	14,581	16,664	18,747
49	2,041	4,082	6,123	8,164	10,205	12,246	14,287	16,328	18,369
0 50	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000	16,000	18,000

h \ l	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 50	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14.000	16,000	18,000
51	1,961	3,922	5,883	7,844	9,805	11,766	13,727	15,688	17,649
52	1,923	3,846	5,769	7,692	9,615	11,538	13,461	15,384	17,307
53	1,887	3,774	5,661	7,548	9,435	11,322	13,209	15,096	16,983
54	1,852	3,704	5,556	7,408	9,260	11,112	12,964	14,816	16,668
55	1,818	3,636	5,454	7,272	9,090	10,908	12,726	14,544	16,362
56	1,786	3,572	5,358	7,144	8,930	10,716	12,502	14,288	16,074
57	1,754	3,508	5,262	7,016	8,770	10,524	12,278	14,032	15,786
58	1,724	3,448	5,172	6,996	8,720	10,444	12,168	13,892	15,616
59	1,695	3,390	5,085	6,780	8,475	10,170	11,865	13,560	15,255
0 60	1,667	3,334	5,001	6,668	8,335	10,002	11,669	13,336	15,003
61	1,639	3,278	4,917	6,556	8,195	9,834	11,473	13,112	14,751
62	1,613	3,226	4,839	6,452	8,065	9,678	11,291	12,904	14,517
63	1,587	3,174	4,761	6,348	7,935	9,522	11,109	12,696	14,283
64	1,563	3,126	4,689	6,252	7,815	9,378	10,941	12,504	14,067
65	1,538	3,076	4,614	6,152	7,690	9,228	10,766	12,304	13,842
66	1,515	3,030	4,515	6,060	7,575	9,090	10,605	12,120	13,635
67	1,493	2,986	4,479	5,972	7,465	8,958	10,451	11,944	13,437
68	1,471	2,942	4,413	5,884	7,355	8,826	10,297	11,768	13,238
69	1,449	2,898	4,347	5,796	7,245	8,694	10,143	11,592	13,041
0 70	1,429	2,858	4,287	5,716	7.145	8,574	10,003	11,432	12,861
71	1,408	2,816	4,224	5,632	7,040	8,448	9,856	11,264	12,672
72	1,389	2,778	4,167	5,556	6,945	8,334	9,723	11,112	12,501
73	1,370	2,740	4,110	5,480	6,850	8,220	9,590	10,960	12,330
74	1,351	2,702	4,053	5,404	6,755	8,106	9,457	10,808	12,159
75	1,333	2,666	3,999	5,332	6,665	7,998	9,331	10,664	11,997
76	1,316	2,632	3,948	5,264	6,580	7,896	9,212	10,528	11,844
77	1,299	2,598	3,897	5,196	6,495	7,794	9,093	10,392	11,691
78	1,282	2,564	3,846	5,128	6,410	7,692	8,974	10,256	11,538
79	1,266	2,532	3,798	5,064	6,330	7,596	8,862	10,128	11,394
0 80	1,250	2,500	3,750	5,000	6,250	7,500	8,750	10,000	11,250
81	1,235	2,470	3,705	4,940	6,175	7,410	8,645	9,880	11,115
82	1,220	2,440	3,660	4,880	6,100	7,320	8,540	9,760	10,980
83	1,205	2,410	3,615	4,820	6,025	7,230	8,435	9,640	10,845
84	1,190	2,380	3,570	4,760	5,950	7,140	8,330	9,520	15,710
85	1,176	2,352	3,528	4,704	5,880	7,056	8,232	9,408	10,584
86	1,163	2,326	3,489	4,652	5,815	6,978	8,141	9,304	10,467
87	1,149	2,298	3,447	4,596	5,745	6,894	8,043	9,192	10,341
88	1,136	2,272	3,408	4,544	5,680	6,816	7,952	9,088	10,224
89	1,124	2,248	3,372	4,496	5,620	6,744	7,868	8,992	10,116
0 90	1,111	2,222	3,333	4,444	5,555	6,666	7,777	8,888	9,999
91	1,099	2,198	3,297	4,396	5,495	6,594	7,693	8,792	9,891
92	1,087	2,172	3,259	4,346	5,433	6,520	7,607	8,694	9,781
93	1,075	2,150	3,225	4,300	5,375	6,450	7,525	8,600	9,675
94	1,064	2,128	3,192	4,256	5,320	6,384	7,448	8,512	9,576
95	1,053	2,106	3,159	4,212	5,265	6,318	7,371	8,424	9,477
96	1,042	2,084	3,126	4,168	5,210	6,252	7,294	8,336	9,378
97	1,031	2,064	3,093	4,124	5,155	6,186	7,217	8,248	9,279
98	1,020	2,040	3,060	4,080	5,100	6,120	7,140	8,160	9,180
99	1,010	2,020	3,030	4,040	5,050	6,060	7,070	8,080	9,090
1 00	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000

h \ l	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 00	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000
01	0,990	1,980	2,970	3,960	4,950	5,940	6,930	7,920	8,910
02	0,980	1,960	2,940	3,920	4,900	5,880	6.860	7,840	8,820
03	0,971	1,942	2,913	3,884	4,855	5,826	6,797	7,768	8,739
04	0,962	1,924	2,886	3,848	4,810	5,772	6,734	7,696	8,658
05	0,952	1,904	2,856	3,808	4,760	5,712	6,664	7,616	8,568
06	0,943	1,886	2,829	3,772	4,715	5,658	6,601	7,544	8,487
07	0,935	1,870	2,805	3,740	4,675	5,610	6,545	7,470	8,405
08	0,926	1,852	2,778	3,704	4,630	5,556	6,482	7,408	8,334
09	0,917	1,834	2,751	3,668	4,585	5,502	6,419	7,336	8,253
1 10	0,909	1,818	2,727	3,636	4,545	5,454	6,363	7,272	8,181
11	0,901	1,802	2,703	3,604	4,505	5,406	6,307	7,208	8,109
12	0,893	1,786	2,679	3,572	4,465	5,358	6,251	7,144	8,037
13	0,885	1,770	2,655	3,540	4,425	5,310	6,195	7,080	7,965
14	0,877	1,754	2,631	3 508	4,385	5,262	6,139	7,016	7,893
15	0,870	1,740	2,610	3,480	4,350	5,220	6,090	6,960	7,830
16	0,862	1,724	2,586	3,448	4,310	5,172	6,034	6,896	7,758
17	0,855	1,710	2,565	3,420	4,275	5,130	5,985	6,840	7,695
18	0,847	1,694	2,541	3,388	4,235	5,082	5,929	6,776	7,623
19	0,840	1,680	2,520	3,360	4,200	5,040	5,880	6,720	7,560
1 20	0,833	1,666	2,499	3,332	4,165	4,998	5,831	6,664	7,497
21	0,826	1,652	2,478	3,304	4,130	4,956	5,782	6,608	7,434
22	0,820	1,640	2,460	3,280	4,100	4,920	5,740	6,560	7,380
23	0,813	1,626	2,439	3,252	4,065	4,878	5,691	6,504	7,317
24	0,806	1,612	2,418	3,224	4,030	4,836	5,642	6,448	7,254
25	0,800	1,600	2,400	3,200	4,000	4,800	5,600	6,400	7,200
26	0,794	1,588	2,382	3,176	3,970	4,764	5,558	6,352	7,146
27	0,787	1,574	2,361	3,148	3,935	4,722	5,509	6,296	7,083
28	0,781	1,562	2,343	3,124	3,905	4,686	5,467	6,248	7,029
29	0,775	1,550	2,325	3,100	3,875	4,650	5,425	6,200	6,975
1 30	0,769	1,538	2,307	3,076	3,845	4,614	5,383	6,152	6,921
31	0,763	1,526	2,289	3,052	3,815	4,578	5,341	6,104	6,867
32	0,758	1,516	2,274	3,032	3,790	4,548	5,306	6,064	6,822
33	0,752	1,504	2,256	3,008	3,760	4,512	5,264	6,016	6,768
34	0,746	1,492	2,238	2,984	3,730	4,476	5,222	5,968	6,714
35	0,741	1,482	2,223	2,964	3,705	4,446	5,187	5,928	6,669
36	0,735	1,470	2,205	2,940	3,675	4,410	5,145	5,880	6,615
37	0,730	1,460	2,190	2,920	3,650	4,380	5,110	5,840	6,570
38	0,725	1,450	2,175	2,900	3,625	4,350	5,075	5,800	6,525
39	0,719	1,438	2,157	2,876	3,595	4,314	5,033	5,752	6,471
1 40	0,714	1,428	2,142	2,856	3,570	4,284	4,998	5,712	6,426
41	0,709	1,418	2,127	2,836	3,545	4,254	4,963	5,672	6,381
42	0.704	1,408	2,112	2,816	3,520	4,224	4,928	5,632	6,336
43	0,699	1,398	2,097	2,796	3,495	4,194	4,893	5,592	6,291
44	0,694	1,388	2,082	2,776	3,470	4,164	4,858	5,552	6,246
45	0,690	1,380	2,070	2,760	3,450	4,140	4,830	5,520	6,210
46	0,685	1,370	2,055	2,740	3,425	4,110	4,795	5,480	6,165
47	0,680	1,360	2,040	2,720	3,400	4,080	4,760	5,440	6,120
48	0,676	1,352	2,028	2,704	3,380	4,056	4,732	5,408	6,084
49	0,671	1,342	2,013	2,684	3,355	4,026	4,697	5,368	6,039
1 50	0,667	1,334	2,001	2,668	3,335	4,002	4,669	5,336	6,003

h \ l	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 50	0,667	1,334	2,001	2,668	3,335	4,002	4,669	5,336	6,003
51	0,662	1,324	1,986	2,648	3,310	3,972	4,634	5,296	5,958
52	0,658	1,316	1,974	2,632	3,290	3,948	4,606	5,264	5,922
53	0,654	1,308	1,962	2,616	3,270	3,924	4,578	5,232	5,886
54	0,649	1,298	1,947	2,596	3,245	3,894	4,543	5,192	5,841
55	0,645	1,290	1,935	2,580	3,225	3,870	4,515	5,160	5,805
56	0,641	1,282	1,923	2,564	3,205	3,846	4,487	5,128	5,769
57	0,637	1,274	1,911	2,548	3,185	3,822	4,459	5,096	5,733
58	0,633	1,266	1,899	2,632	3,165	3,798	4,431	5,064	5,697
59	0,629	1,258	1,887	2,516	3,145	3,774	4,403	5,032	5,661
1 60	0,625	1,250	1,875	2,500	3,125	3,750	4,375	5,000	5,625
61	0,621	1,242	1,863	2,484	3,105	3,726	4,347	4,968	5,589
62	0,617	1,234	1,851	2,468	3,085	3,702	4,319	4,936	5,553
63	0,613	1,226	1,839	2,452	3,065	3,678	4,291	4,904	5,517
64	0,610	1,220	1,830	2,440	3,050	3,660	4,270	4,880	5,490
65	0,606	1,212	1,818	2,424	3,030	3,636	4,242	4,848	5,454
66	0,602	1,204	1,806	2,408	3,010	3,612	4,214	4,816	5,418
67	0,599	1,198	1,797	2,396	2,995	3,594	4,193	4,792	5,391
68	0,595	1,190	1,785	2,380	2,975	3,570	4,165	4,760	5,355
69	0,592	1,184	1,776	2,368	2,960	3,552	4,144	4,736	5,328
1 70	0,588	1,176	1,764	2,352	2,940	3,528	4,116	4,704	5,292
71	0,585	1,170	1,755	2,340	2,925	3,510	4,095	4,680	5,265
72	0,581	1,162	1,743	2,324	2,905	3,486	4,067	4,648	5,229
73	0,578	1,156	1,734	2,312	2,890	3,468	4,046	4,624	5,202
74	0,575	1,150	1,725	2,300	2,875	3,450	4,025	4,600	5,175
75	0,571	1,142	1,713	2,284	2,855	3,426	3,997	4,568	5,139
76	0,568	1,136	1,704	2,272	2,840	3,408	3,976	4,544	5,112
77	0,565	1,130	1,695	2,260	2,825	3,390	3,955	4,520	5,085
78	0,562	1,124	1,686	2,248	2,810	3,372	3,934	4,496	5,058
79	0,559	1,118	1,677	2,236	2,795	3,354	3,913	4,472	5,031
1 80	0,556	1,112	1,668	2,224	2,780	3,336	3,892	4,448	5,004
81	0,552	1,104	1,656	2,208	2,760	3,312	3,864	4,416	4,968
82	0,549	1,098	1,647	2,196	2,745	3,294	3,843	4,392	4,941
83	0,546	1,092	1,638	2,184	2,730	3,276	3,822	4,368	4,914
84	0,543	1,086	1,629	2,172	2,715	3,258	3,801	4,344	4,887
85	0,541	1,082	1,623	2,164	2,705	3,246	3,787	4,328	4,869
86	0,538	1,076	1,614	2,152	2,690	3,228	3,766	4,304	4,842
87	0,535	1,070	1,605	2,140	2,675	3,210	3,745	4,280	4,815
88	0,532	1,064	1,596	2,128	2,660	3,192	3,724	4,256	4,788
89	0,529	1,058	1,587	2,116	2,645	3,174	3,703	4,232	4,761
1 90	0,526	1,052	1,578	2,104	2,630	3,156	3,682	4,208	4,734
91	0,524	1,048	1,572	2,096	2,620	3,144	3,668	4,192	4,716
92	0,521	1,042	1,563	2,084	2,605	3,126	3,647	4,168	4,689
93	0,518	1,036	1,554	2,072	2,590	3,108	3,626	4,144	4,662
94	0,515	1,030	1,545	2,060	2,575	3,090	3,605	4,120	4,635
95	0,513	1,026	1,539	2,052	2,565	3,078	3,591	4,104	4,617
96	0,510	1,020	1,530	2,040	2,550	3,060	3,570	4,080	4,590
97	0,508	1,016	1,524	2,032	2,540	3,048	3,556	4,064	4,572
98	0,505	1,010	1,515	2,020	2,525	3,030	3,535	4,040	4,545
99	0,503	1,006	1,509	2,012	2,515	3,018	3,521	4,024	4,527
2 00	0,500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500

h \ l	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 00	0,500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500
01	0,498	0,996	1,494	1,992	2,490	2,988	3,486	3,984	4,482
02	0,495	0,990	1,485	1,980	2,475	2,970	3,465	3,960	4,455
03	0,493	0,986	1,479	1,972	2,465	2,958	3,451	3,944	4,437
04	0,490	0,980	1,470	1,960	2,450	2,940	3,430	3,920	4,410
05	0,488	0,976	1,464	1,952	2,440	2,928	3,416	3,904	4,392
06	0,485	0,970	1,455	1,940	2,425	2,910	3,395	3,880	4,365
07	0,483	0,966	1,449	1,932	2,415	2,898	3,381	3,864	4,347
08	0,481	0,962	1,443	1,924	2,405	2,886	3,367	3,848	4,329
09	0,478	0,956	1,434	1,912	2,390	2,868	3,346	3,824	4,302
2 10	0,476	0,952	1,428	1,904	2,380	2,856	3,332	3,808	4,284
11	0,474	0,948	1,422	1,896	2,370	2,844	3,318	3,792	4,266
12	0,472	0,944	1,416	1,888	2,360	2,832	3,304	3,776	4,248
13	0,469	0,938	1,407	1,876	2,345	2,814	3,283	3,752	4,221
14	0,467	0,934	1,401	1,868	2,335	2,802	3,269	3,736	4,203
15	0,465	0,930	1,395	1,860	2,325	2,790	3,255	3,720	4,185
16	0,463	0,926	1,389	1,852	2,315	2,778	3,241	3,704	4,167
17	0,461	0,922	1,383	1,844	2,305	2,766	3,227	3,688	4,149
18	0,459	0,918	1,377	1,836	2,295	2,754	3,213	3,672	4,131
19	0,457	0,914	1,371	1,828	2,285	2,742	3,199	3,656	4,113
2 20	0,455	0,910	1,365	1,820	2,275	2,730	3,185	3,640	4,095
21	0,452	0,904	1,356	1,808	2,260	2,712	3,164	3,616	4,068
22	0,450	0,900	1,350	1,800	2,250	2,700	3,150	3,600	4,050
23	0,448	0,896	1,344	1,792	2,240	2,688	3,136	3,584	4,032
24	0,446	0,892	1,338	1,784	2,230	2,676	3,122	3,568	4,014
25	0,444	0,888	1,332	1,776	2,220	2,664	3,108	3,552	3,996
26	0,442	0,884	1,326	1,768	2,210	2,652	3,094	3,536	3,978
27	0,441	0,882	1,323	1,764	2,205	2,646	3,087	3,528	3,969
28	0,439	0,878	1,317	1,756	2,195	2,634	3,073	3,512	3,951
29	0,437	0,874	1,311	1,748	2,185	2,622	3,059	3,496	3,933
2 30	0,435	0,870	1,305	1,740	2,175	2,610	3,045	3,480	3,915
31	0,433	0,866	1,299	1,732	2,165	2,598	3,031	3,464	3,897
32	0,431	0,862	1,293	1,724	2,155	2,586	3,017	3,448	3,879
33	0,429	0,858	1,287	1,716	2,145	2,574	3,003	3,432	3,861
34	0,427	0,854	1,281	1,708	2,135	2,562	2,989	3,416	3,843
35	0,426	0,852	1,278	1,704	2,130	2,556	2,982	3,408	3,834
36	0,424	0,848	1,272	1,696	2,120	2,544	2,968	3,392	3,816
37	0,422	0,844	1,266	1,688	2,110	2,532	2,954	3,376	3,798
38	0,420	0,840	1,260	1,680	2,100	2,520	2,940	3,360	3,780
39	0,418	0,836	1,254	1,672	2,090	2,508	2,926	3,344	3,762
2 40	0,417	0,834	1,251	1,668	2,085	2,502	2,919	3,336	3,753
41	0,415	0,830	1,245	1,660	2,075	2,490	2,905	3,320	3,735
42	0,413	0,826	1,239	1,652	2,065	2,478	2,891	3,304	3,717
43	0,412	0,824	1,236	1,648	2,060	2,472	2,884	3,296	3,708
44	0,410	0,820	1,230	1,640	2,050	2,460	2,870	3,280	3,690
45	0,408	0,816	1,224	1,632	2,040	2,448	2,856	3,264	3,672
46	0,407	0,814	1,221	1,628	2,035	2,442	2,849	3,256	3,663
47	0,405	0,810	1,215	1,620	2,025	2,430	2,835	3,240	3,645
48	0,403	0,806	1,209	1,612	2,015	2,418	2,821	3,224	3,627
49	0,402	0,804	1,206	1,608	2,010	2,412	2,814	3,216	3,918
2 50	0,400	0,800	1,200	1,600	2,000	2,400	2,800	3,200	3,600

h \ I	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 50	0,400	0,800	1,200	1,600	2,000	2,400	2,800	3,200	3,600
51	0,398	0,796	1,194	1,592	1,990	2,388	2,786	3,184	3,582
52	0,397	0,794	1,191	1,588	1,985	2,382	2,779	3,176	3,573
53	0,395	0,790	1,185	1,580	1,975	2,370	2,765	3,160	3,555
54	0,394	0,788	1,182	1,576	1,970	2,364	2,758	3,152	3,546
55	0,392	0,784	1,176	1,568	1,960	2,352	2,744	3,136	3,528
56	0,391	0,782	1,173	1,564	1,955	2,346	2,737	3,128	3,519
57	0,389	0,778	1,167	1,556	1,945	2,334	2,723	3,112	3,501
58	0,388	0,776	1,164	1,552	1,940	2,328	2,716	3,104	3,492
59	0,386	0,772	1,158	1,544	1,930	2,316	2,702	3,088	3,474
2 60	0,385	0,770	1,155	1,540	1,925	2,310	2,695	3,080	3,465
61	0,383	0,766	1,149	1,532	1,915	2,298	2,681	3,064	3,447
62	0,382	0,764	1,146	1,528	1,910	2,292	2,674	3,056	3,438
63	0,380	0,760	1,140	1,520	1,900	2,280	2,660	3,040	3,420
64	0,379	0,758	1,137	1,516	1,895	2,274	2,653	3,032	3,411
65	0,377	0,754	1,131	1,508	1,885	2,262	2,639	3,016	3,393
66	0,376	0,752	1,128	1,504	1,880	2,256	2,632	3,008	3,384
67	0,375	0,750	1,125	1,500	1,875	2,250	2,625	3,000	3,375
68	0,373	0,746	1,119	1,492	1,865	2,238	2,611	2,984	3,357
69	0,372	0,744	1,116	1,488	1,860	2,232	2,604	2,976	3,348
2 70	0,370	0,740	1,110	1,480	1,850	2,220	2,590	2,960	3,330
71	0,369	0,738	1,107	1,476	1,845	2,214	2,583	2,952	3,321
72	0,368	0,736	1,104	1,472	1,840	2,208	2,576	2,944	3,312
73	0,366	0,732	1,098	1,464	1,830	2,196	2,562	2,928	3,294
74	0,365	0,730	1,095	1,460	1,825	2,190	2,555	2,920	3,285
75	0,364	0,728	1,092	1,456	1,820	2,184	2,548	2,912	3,276
76	0,362	0,724	1,086	1,448	1,810	2,172	2,534	2,896	3,258
77	0,361	0,722	1,083	1,444	1,805	2,166	2,527	2,888	3,249
78	0,360	0,720	1,080	1,440	1,800	2,160	2,520	2,880	3,240
79	0,358	0,716	1,074	1,432	1,790	2,148	2,506	2,864	3,222
2 80	0,357	0,714	1,071	1,428	1,785	2,142	2,499	2,856	3,213
81	0,356	0,712	1,068	1,424	1,780	2,136	2,492	2,848	3,204
82	0,355	0,710	1,065	1,420	1,775	2,130	2,485	2,840	3,195
83	0,353	0,706	1,059	1,412	1,765	2,118	2,471	2,824	3,177
84	0,352	0,704	1,056	1,408	1,760	2,112	2,464	2,816	3,168
85	0,351	0,702	1,053	1,404	1,755	2,106	2,457	2,808	3,159
86	0,350	0,700	1,050	1,400	1,750	2,100	2,450	2,800	3,150
87	0,348	0,696	1,044	1,392	1,740	2,088	2,436	2,784	3,132
88	0,347	0,694	1,041	1,388	1,735	2,082	2,429	2,776	3,123
89	0,346	0,692	1,038	1,384	1,730	2,076	2,422	2,768	3,114
2 90	0,345	0,690	1,035	1,380	1,725	2,070	2,415	2,760	3,105
91	0,344	0,688	1,032	1,376	1,720	2,064	2,408	2,752	3,096
92	0,342	0,684	1,026	1,368	1,710	2,052	2,394	2,736	3,078
93	0,341	0,682	1,023	1,364	1,705	2,046	2,387	2,728	3,069
94	0,340	0,680	1,020	1,360	1,700	2,040	2,380	2,720	3,060
95	0,339	0,678	1,017	1,356	1,695	2,034	2,373	2,712	3,051
96	0,338	0,676	1,014	1,352	1,690	2,028	2,366	2,704	3,042
97	0,337	0,674	1,011	1,348	1,685	2,022	2,359	2,696	3,033
98	0,336	0,672	1,008	1,344	1,680	2,016	2,352	2,688	3,024
99	0,334	0,668	1,002	1,336	1,670	2,004	2,338	2,672	3,006
3 00	0,333	0,666	0,999	1,332	1,665	1,998	2,331	2,664	2,997

Какъ ни интересно и важно разрѣшеніе транспортности или minimum'а земляныхъ работъ, однако необходимо имѣть въ виду, что съ измѣненіемъ положенія проектной линіи связаны еще количества каменной кладки проектируемыхъ—подпорныхъ стѣнъ, мостовъ и трубъ, а также ширина полосы отчужденія. Стоимость единицы каменной кладки (особенно — на растворѣ) настолько превышаетъ обыкновенно стоимость таковой-же единицы земляныхъ работъ, что несмотря на незначительную сравнительно общую кубатуру кладки игнорировать ее, увлекаясь комбинаціей земляныхъ работъ, крайне не раціонально; между тѣмъ, н. п., при изысканіяхъ ж. дорогъ, приходится нерѣдко наблюдать то обстоятельство, что особеннымъ (если не исключительнымъ) вниманіемъ при трассировкѣ линій пользуются земляныя работы.

Что касается величины отчужденія, то, находясь въ связи съ положеніемъ проектной линіи, величина эта въ смыслѣ стоимости допускаетъ значительное колебаніе единичной цѣны, почему и не можетъ быть оставлена безъ вниманія.

Ниже изложены: опытъ опредѣленія количествъ кладки и отчужденія, какъ функцій положенія проектной линіи, и — общее рѣшеніе вопроса о наивыгоднѣйшей комбинаціи расчетныхъ элементовъ, т. е. земляныхъ работъ, искусственныхъ сооруженій и отчужденія.

Одновременно съ расчетомъ приведены нѣкоторыя данныя, касающіяся проектированія искусственныхъ сооруженій; этими данными можно руководствоваться въ большинствѣ случаевъ практики.

II. ИСКУССТВЕННЫЯ СООРУЖЕНІЯ.

Подпорныя стѣны. Мосты. Трубы.

1. Подпорныя стѣны.

Подпорныя стѣнки устраиваются въ слѣдующихъ случаяхъ:

1) на крутыхъ косогорахъ, во избѣжаніе чрезмѣрно большой длины откосовъ;

2) когда откосъ омывается водой, и пологій откосъ можетъ слишкомъ стѣснить живое сѣченіе, потребовавъ дорогихъ укрѣпленій;

3) въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ какими-нибудь сооруженіями, отвести которыя не представляется возможнымъ (улицы, дома и т. п.);

4) при чрезмѣрной дороговизнѣ отчуждаемой подъ дорогу земли.

Ниже помѣщаемые чертежи подъ №№ 1—13 представляютъ собою типы подпорныхъ стѣнъ изъ сухой кладки и на растворѣ, принятые Министерствомъ П. С. на казенныхъ ж. дорогахъ и дополненные и провѣренные Управленіемъ Круго-Байкальской ж. дороги *).

А. Примѣненіе стѣнокъ изъ сухой кладки.

Подпорныя стѣнки изъ сухой кладки типовъ №№ 1, 2 и 5 примѣняются въ тѣхъ случаяхъ, когда откосу придаютъ уклонъ круче одиночнаго; эти типы возможно примѣнять лишь въ мѣстахъ, гдѣ насыпь не подвергается дѣйствію текучей воды или волнъ.

Предѣлы высотъ стѣнокъ находятся въ зависимости отъ уклоновъ наружныхъ откосовъ;

Такъ, откосу 1 : 1,50, (№ 5) соотвѣтствуетъ предѣльная высота = 2,50 саж.;

» » 1 : $^2/_3$, (№ 1) » » » = 4,25 »

» » 1 : $^4/_5$, (№ 2) » » » = 7,00 »

Черт. № 1.

Типъ № 1 (чер. 1) примѣняется на не очень крутыхъ косогорахъ для стѣнокъ высотою до 4,25 саж.

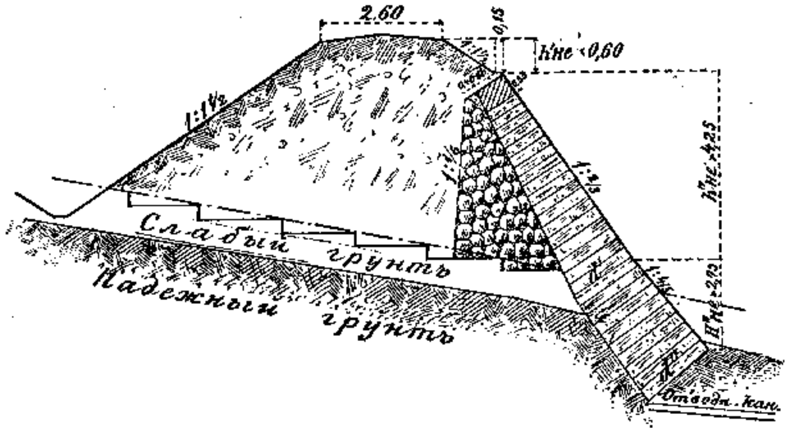
Наружный откосъ стѣнки 1 : $^2/_3$; размѣры d и d' перпендикулярны къ линіи откоса.

Типъ № 2 (чер. 2) примѣняется для стѣнокъ высотою до 7,00 саж. на косогорахъ пологихъ; сверху, на высоту 4,25 с. наружному откосу стѣнки

*) Г. Краевскій, «Желѣзнодорожныя изысканія».

даютъ уклонъ $1:{}^2/_3$, остальную же часть до подошвы дѣлаютъ съ уклономъ $1:{}^4/_5$. Размѣры (d), (d′) и (d″)—перпендикулярны къ наружному откосу и получаются изъ таблицы № 1 (см. ниже).

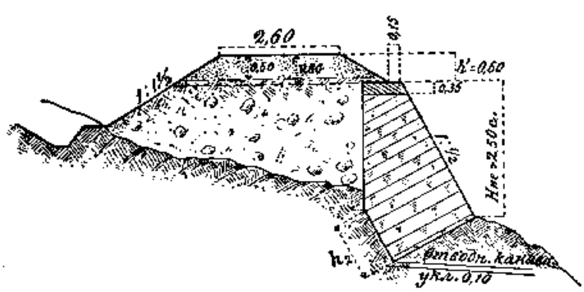
Основаніе стѣнокъ закладывается ниже глубины (k) — промерзанія на надежномъ грунтѣ.



Черт. № 2.

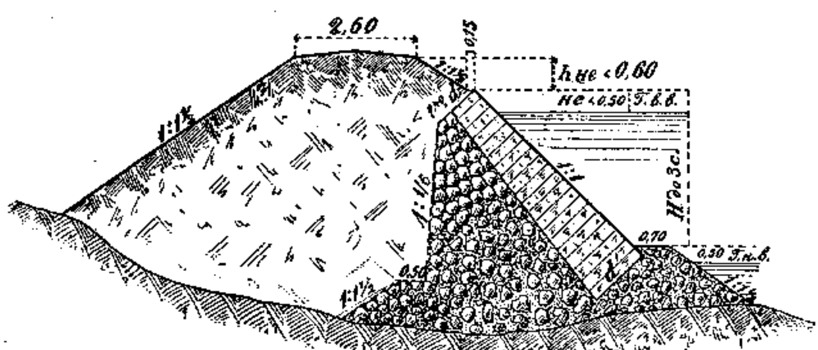
Типъ № 5 (чер. 5) примѣняется для стѣнокъ высотою до 2,50 саж. на очень крутыхъ косогорахъ.

Размѣры стѣнки берутся изъ прилагаемой ниже таблички № 2.

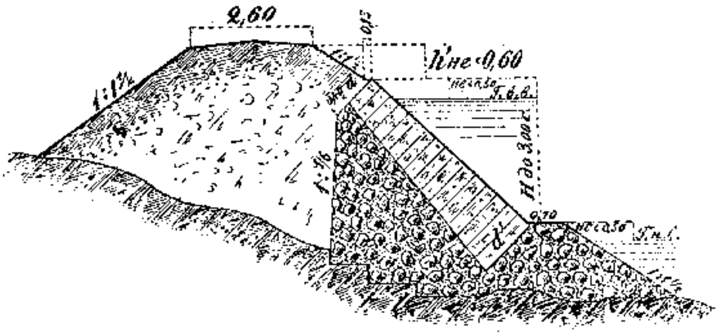


Черт. № 5.

Подпорныя стѣнки изъ сухой кладки типовъ №№ 3 и 4 (чер. 3 и 4) устраиваются по теченію рѣкъ и имѣютъ наружный откосъ 1:1; размѣры d и d′ берутся изъ таблицы № 1.



Чер. № 3.



Черт. № 4.

В. Примѣненіе стѣнокъ на растворѣ.

Типы №№ 6, 7, 8, 9, 10 и 11 (черт. 6—11) примѣняются въ слѣдующихъ случаяхъ:

1) при очень крутыхъ косогорахъ, когда откосу насыпи придаютъ уклонъ круче $1:{}^1/_2$.

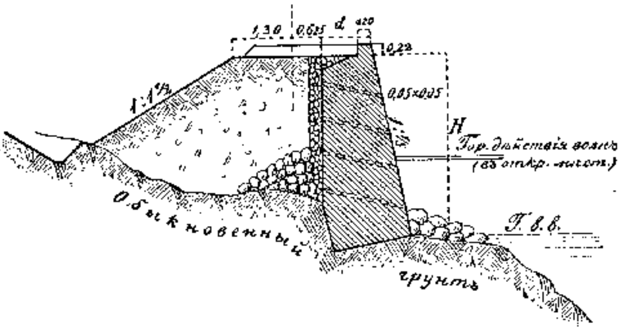
2) когда откосъ насыпи подвергается динамическому дѣйствію воды.

Типы №№ 6 и 7 примѣняются въ обыкновенныхъ грунтахъ при пологихъ косогорахъ. Разстояніе оси пути до верхняго ребра наружнаго откоса стѣнки равно 1,50 сажени; стѣнка доходитъ до бровки полотна.

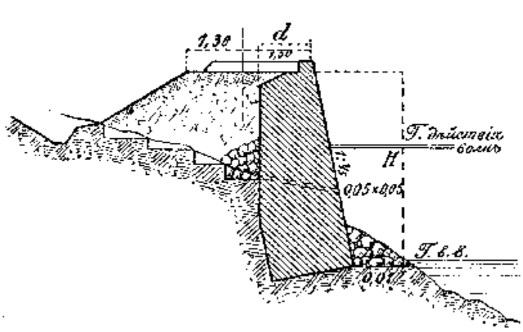
Наружный откосъ $1:{}^1/_5$, внутренній—вертикально до надежнаго грунта, затѣмъ параллельно наружному откосу. Верхняя поверхность стѣнки — съ небольшимъ уклономъ во внутрь, нижняя — перпендикулярно къ наружному откосу. Основаніе закладывается въ надежномъ грунтѣ ниже глубины (k) промерзанія грунта.

Размѣръ стѣнки берется изъ приведенной ниже таблицы № 3.

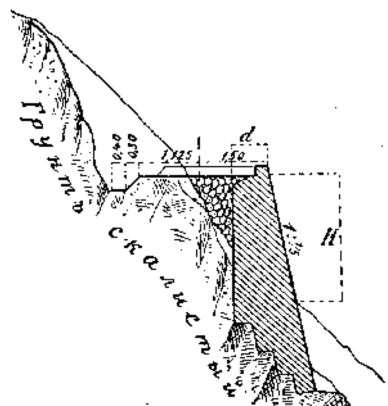
Типъ № 8 примѣняется на скалистыхъ косогорахъ. Очертаніе и положеніе стѣнки такое же, какъ №№ 6 и 7, при чемъ: нижняя поверхность ограничивается рядомъ зубьевъ сопрягающихся со скалою. Размѣръ по таблицѣ № 3.



Черт. № 6.



Черт. № 7.

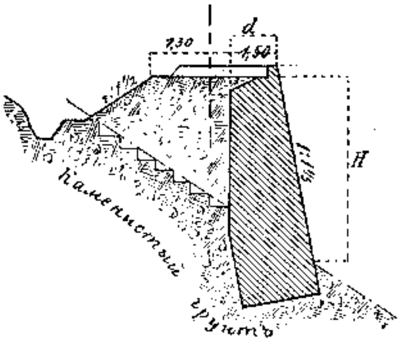


Черт. № 8.

Примѣчаніе: Расчетной высотой стѣнки считается размѣръ, показанный на чертежѣ.

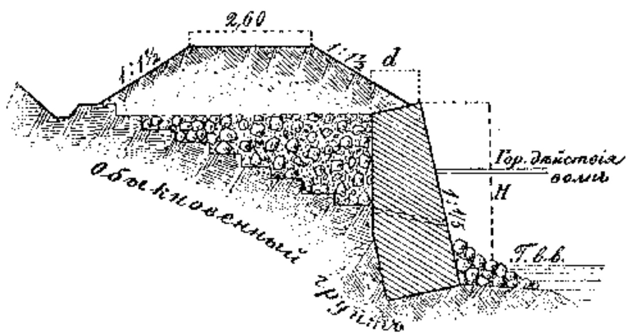
Типъ № 9 примѣняется при грунтахъ каменистыхъ, плотно слежавшихся.

Очертаніе и положеніе—какъ въ №№ 6 и 7; размѣръ такой же, какъ типа № 8 (табл. № 3).

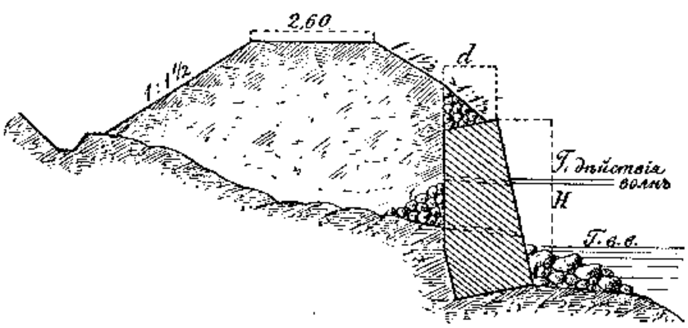


Черт. № 9.

Типы №№ 10 и 11 примѣняются при грунтахъ обыкновенныхъ; размѣры—въ таблицѣ № 3.



Черт. № 10.



Черт. № 11.

Стѣнка ставится въ наивыгоднѣйшемъ по мѣстнымъ условіямъ разстояніи отъ оси полотна.

Подпорныя стѣнки въ выемкахъ проектируются во избѣжаніе устройства дорого стоящихъ укрѣпленій спалзывающихъ длинныхъ откосовъ и для уменьшенія—количества земляныхъ работъ и площади земли, подлежащей отчужденію Стѣнки эти вообще называются **предохранительными**.

Иногда же стѣнки устраиваются для прикрытія слабыхъ скалистыхъ и каменистыхъ откосовъ отъ вреднаго вліянія атмосферныхъ дѣятелей; такого рода стѣнки носятъ названіе **одѣвающихъ**.

Типъ № 12. (Чер. 12). Очертаніе и правило устройства этой предохранительной стѣнки въ общихъ чертахъ тѣ же, что и подпорныхъ стѣнокъ, сложенныхъ на растворѣ.

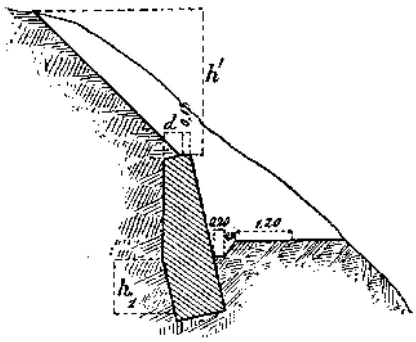
Величина (h'), (черт. № 12), при откосахъ выемокъ $1:1^1/_2$ или $1:1^1/_4$ опредѣляется графическимъ построеніемъ слѣдующимъ образомъ: отъ точки стѣнки въ горизонтѣ дна кювета проводится линія подъ угломъ въ 45° къ горизонту; вертикальное разстояніе точки пересѣченія этой линіи съ поверхностью отпланированнаго откоса *) надъ верхней плоскостью предохранительной стѣнки и будетъ искомое (h').

Толщина стѣнки по верху d' первоначально берется по даннымъ H и h' изъ приводимой ниже таблицы № 4, предполагая глубину фундамента $h=0$; затѣмъ, принимая во вниманіе глубину фундамента, искомая толщина (d) окончательно опредѣляется съ помощью таблицы № 5; эта послѣдняя даетъ при извѣстныхъ H и h тотъ процентъ (p), на который надо увеличить толщину стѣнки d', т. е. принять $d=d'(1+p)$.

Если откосъ выемки равенъ 1:1 или круче, то дѣлаютъ то же построеніе и опредѣляютъ точку пресѣченія линіи подъ угломъ въ 45° съ поверхностью земли; если-же въ такомъ случаѣ величина h' окажется болѣе $3H$ то полагаютъ

$$h' = 3H$$

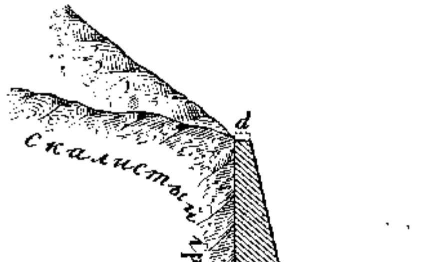
гдѣ H—высота стѣнки и этимъ значеніемъ обусловливаютъ размѣръ стѣнки.



Черт. № 12.

Одѣвающая стѣнка.

Типъ № 13 (чер. 13) до 3-хъ саж. высоты дѣлается одной и той-же толщины; уклонъ наружной грани равенъ $1:{}^1/_5$. Размѣры берутся изъ таблицы № 6.



Черт. № 13.

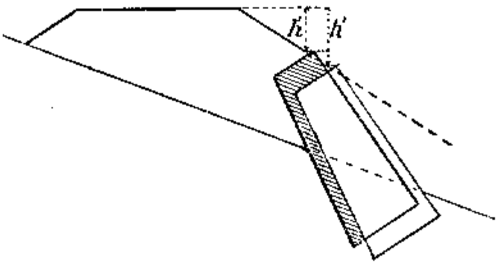
5*

*) Или въ частномъ случаѣ—съ поверхностью земли.

Кромѣ перечисленныхъ выше таблицъ размѣровъ подпорныхъ стѣнъ приведены ниже и таблицы площадей поперечныхъ сѣченій ихъ при различныхъ высотахъ, что служитъ къ облегченію подсчета объемовъ кладки *).

Говоря о подпорныхъ стѣнкахъ полезно замѣтить слѣдующее:

положеніе стѣнки въ данномъ поперечномъ профилѣ можетъ быть проектировано вообще различно въ зависимости отъ величины задаваемой надсыпки (h'), (фиг. 14); съ перемѣной-же положенія стѣнки измѣняются—ширина полосы отчужденія и площади сѣченій какъ кладки, такъ и земляныхъ работъ.

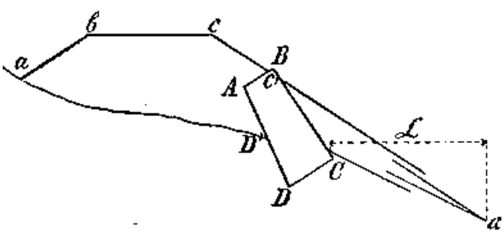


Фиг. 14.

Не входя здѣсь въ подробное разсмотрѣніе вопроса о наивыгоднѣйшемъ положеніи стѣнки, замѣтимъ лишь, что таковое повидимому совпадаетъ съ наиболѣе близкимъ къ оси профиля положеніемъ, какое-только допускается величиной надсыпки и высотой стѣнки.

Разъ стѣнка проектируется, то экономическая выгодность ея примѣненія въ данномъ случаѣ можетъ быть провѣрена сравненіемъ стоимости отдѣльныхъ частей, а именно (фиг. 15):

обозначая:



Фиг. 15.

---

*) Подробнѣе — описаніе подпорныхъ стѣнъ, а также таблицы размѣровъ и площадей см. «Желѣзнодорожныя изысканія» Г. Краевскаго, и «Инструкціи для производства изысканій Чепца-Кыштымъ» Ѳ. Докса.

поперечное сѣченіе профиля (abcd) черезъ P;
» » » abcc′AD′ » p;
стоимость 1 кб. саж. земли » z;
площадь сѣченія подпорной стѣнки » Ω;
стоимость 1 кб. с. кладки черезъ k
и » 1 кв. с. отчужденія » t,

необходимо съ одной стороны опредѣлить значеніе

$$P.z + L.t,$$

съ другой-же—значеніе

$$p.z + \Omega.k;$$

выгодность примѣненія стѣнки обнаружится если

$$p.z + \Omega.k \leqq P.z + Lt,$$

или, принимая

$$(P-p) = Q,$$

$$\Omega.k \leqq Q.z + Lt. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (56).$$

На практикѣ обыкновенно болѣе или менѣе извѣстны величины k, z и t; поэтому, задаваясь различными отмѣтками (h), соотвѣтствующими взятому типу стѣнки, можно для каждой изъ такихъ отмѣтокъ найти тотъ предѣльный уклонъ косогора, начиная съ котораго выгодно уже проектировать стѣнку.

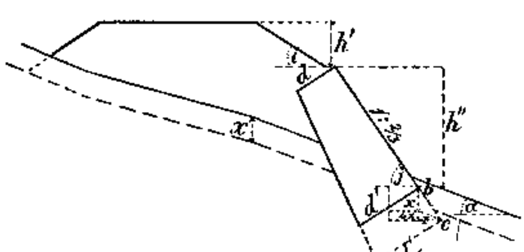
Отысканіе рѣшеній проще всего достигается графически.

Выводъ выраженій объемовъ кладки въ функціи отъ x. Таблицы размѣровъ стѣнокъ и площадей поперечныхъ сѣченій; вспомогательныя таблички и эмпирическія формулы.

Разсмотримъ теперь въ послѣдовательномъ порядкѣ взятыхъ типовъ подпорныхъ стѣнъ, какъ измѣняется объемъ кладки ихъ съ перемѣной положенія проектной линіи.

Типъ № 1.

(Черт., № 1, фиг. 16).



Фиг. 16.

$$\left.\begin{aligned} &\text{Толщина } d = 0{,}60 + \frac{h'}{5} \\ &\text{и} \quad \text{»} \quad d' = \; d + \frac{h''}{5} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (57).$$

Съ повышеніемъ проектной линіи на величину (x) площадь сѣченія стѣнки получаетъ нѣкоторое приращеніе ($\Delta\omega$), при чемъ:

$$\Delta\omega = \frac{(d' + d'_x)}{2} . \, bc = \frac{(d' + d'_x)}{2} . \, \frac{(x + \Delta x)}{\mathrm{Sin}\, j} \ldots\ldots \quad (58).$$

На фиг. 16 имѣемъ:

$$\Delta x = z . \, \mathrm{tg}\, \alpha \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (59)$$

$$\text{и } x + \Delta x = z . \, \mathrm{tg} j; \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (60)$$

отсюда

$$x = z\, (\mathrm{tg}\, j - \mathrm{tg}\, \alpha) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (61)$$

но изъ предыдущаго выраженія находимъ, что

$$z = \frac{x + \Delta x}{\mathrm{tg}\, j},$$

поэтому

$$x = \frac{(x + \Delta x)}{\mathrm{tg}\, j} (\mathrm{tg}\, j - \mathrm{tg}\, \alpha),$$

или

$$(x + \Delta x) = x . \frac{\mathrm{tg}\, j}{(\mathrm{tg}\, j - \mathrm{tg}\, \alpha)} = \frac{x}{1 - \left(\frac{\mathrm{tg}\alpha}{\mathrm{tg}\, j}\right)} \ldots\ldots \quad (62).$$

Далѣе, на основаніи выраженій (57) найдемъ, что

$$d'_x = d + \frac{h'' + x + \Delta x}{5} = d + \frac{h''}{5} + \frac{x + \Delta x}{5} = d' + \frac{(x + \Delta x)}{5}; \ldots \quad (63).$$

Соединяя (62), (63) и (58) получимъ

$$\Delta\omega = \frac{d' + d' + \frac{x + \Delta x}{5}}{2} . \; \frac{(x + \Delta x}{\mathrm{Sin}\, j},$$

или

$$\Delta\omega = \frac{d'}{\mathrm{Sin}\, j} . \left(\frac{x}{1 - \frac{\mathrm{tg}\,\alpha}{\mathrm{tg}\, j}} \right) + \frac{1}{10\, \mathrm{Sin}\, j} . \left(\frac{x}{1 - \frac{\mathrm{tg}\,\alpha}{\mathrm{tg}\, j}} \right)^2 \ldots \quad (64').$$

Такъ какъ

$$\mathrm{tg}\, j = {}^3/_2 \text{ и } \mathrm{Sin}\, j = 0{,}832,$$

то окончательно:

$$\Delta\omega = \frac{d'}{0{,}832\, (1 - {}^2/_3\, \mathrm{tg}\,\alpha)} . \; x + \frac{1}{8{,}32\, (1 - {}^2/_3\, \mathrm{tg}\,\alpha)^2} . \, x^2 \ldots \quad (64).$$

или, обозначая сокращенно:

$$\Delta\omega = d' \lambda x + \mu . x^2.$$

Если взять приращенія двухъ смежныхъ профилей $\triangle\omega_1$, и $\triangle\omega_2$, при разстояніи (L), то приращеніе объема найдется изъ выраженія:

$$\triangle V = \frac{(\triangle\omega_1 + \triangle\omega_2)}{2} L \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (65)$$

Чтобы возможно удобнѣе пользоваться выведенной формулой ниже приведена табличка (а) значеній (λ) и (μ) при величинахъ ($tg\,\alpha$), измѣняющихся черезъ 0,02 саж. Здѣсь-же предварительно помѣщаемъ таблицу № 1 размѣровъ стѣнокъ и таблицу А—площадей поперечныхъ сѣченій стѣнокъ *).

*) Таблицы № 1 и А взяты изъ отмѣченныхъ выше источниковъ.

Таблица

размѣровъ подпорныхъ стѣнъ изъ

Высота стѣнки H (саж.)		Высота надсыпки (h′) надъ стѣнкой въ саж.										
		0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
0,50	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35
0,75	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1 25	1,30	1,35	1,40
1,00	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
1,25	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
1,50	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55
1,75	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60
2,00	d	0,75	0,80	0,85	0.90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65
2,25	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,20	1,25	1.30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70
2,50	d	0,75	0,80	0.85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75
2,75	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80
3,00	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
3,25	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90
3,50	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95
3,75	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
4,00	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1.05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05
4,25	d	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1.05	1,10	1,15	1,20	1,25
	d′	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,9 5	2,00	2 05	2,10

№ I.

сухой кладки типовъ № 1 и 2.

Высота стѣнки H (саж.)		Высота надсыпки (h') надъ стѣнкой въ саженяхъ.											
		3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25
0,50	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95
0 75	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1 70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
1,00	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1 50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05
1,25	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10
1,50	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1 65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15
1,75	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20
2,00	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25
2,25	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30
2,50	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35
2,75	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1.85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40
3,00	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2.20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45
3,25	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50
3,50	d	1,30	1,35	1 40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55
3,75	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60
4,00	d	1.30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65
4 25	d	1,30	1,35	1,40	1,45	1.50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85
	d'	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70

Табли

(Продол

4,50	d''	1,625	1,675	1,725	1,775	1,825	1,875	1,925	1,975	2,025	2,075	2,125
4,75	d''	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15
5,00	d''	1,675	1,725	1,775	1,825	1,875	1,925	1,975	2,025	2,075	2,125	2,175
5,25	d''	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20
5,50	d''	1,725	1,775	1,825	1,875	1,925	1,975	2,025	2,075	2,125	2,175	2,225
5,75	d''	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25
6,00	d''	1,775	1,825	1,875	1,925	1,975	2,025	2,075	2,125	2,175	2,225	2,275
6,25	d''	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30
6,50	d''	1,825	1,875	1,925	1,975	2,025	2,075	2,125	2,175	2,225	2,275	2,325
6,75	d''	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35
7,00	d''	1,875	1,925	1,975	2,025	2,075	2,125	2,175	2,225	2,275	2,325	2,375

Табл

площадей поперечныхъ сѣчені

Высота стѣнки въ саж. H	Высота надсыпки (h') надъ стѣнкой въ саженяхъ:										
	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
0,50	0,48	0,51	0,54	0,57	—	—	—	—	—	—	—
0,75	0,74	0,79	0,83	0,88	0,92	—	—	—	—	—	—
1,00	1,02	1,08	1,14	1,20	1,26	—	—	—	—	—	—
1,25	1,31	1,39	1,46	1,54	1,61	1,69	1,76	1,84	1,91	1,99	2,06
1,50	1,62	1,71	1,80	1,89	1,98	2,07	2,16	2,25	2,34	2,43	2,52
1,75	1,94	2,05	2,15	2,26	2,36	2,47	2,57	2,68	2,78	2,89	2,99
2,00	2,28	2,40	2,52	2,64	2,76	2,88	3,00	3,12	3,24	3,36	3,48
2,25	2,63	2,77	2,90	3,04	3,17	3,31	3,44	3,58	3,71	3,85	3,98
2,50	3,00	3,15	3,30	3,45	3,60	3,75	3,90	4,05	4,20	4,35	4,50
2,75	3,38	3,55	3,71	3,88	4,04	4,21	4,37	4,54	4,70	4,87	5,03
3,00	3,78	3,96	4,14	4,32	4,50	4,68	4,86	5,04	5,22	5,40	5,58
3,25	4,19	4,39	4,58	4,78	4,97	5,17	5,36	5,56	5,75	5,95	6,14
3,50	4,62	4,83	5,04	5,25	5,46	5,67	5,88	6,09	6,30	6,51	6,72
3,75	5,06	5,29	5,51	5,74	5,96	6,19	6,41	6,64	6,86	7,09	7,31
4,00	5,52	5,76	6,00	6,24	6,48	6,72	6,96	7,20	7,44	7,68	7,92
4,25	5,99	6,25	6,50	6,76	7,01	7,27	7,52	7,78	8,03	8,29	8,51
4,50	6,62	6,90	7,18	7,46	7,74	8,02	8,30	8,58	8,86	9,14	9,42
4,75	7,15	7,44	7,73	8,03	8,32	8,61	8,90	9,20	9,49	9,78	10,07
5,00	7,68	7,99	8,31	8,62	8,94	9,25	9,57	9,88	10,20	10,51	10,83
5,25	8,22	8,55	8,87	9,20	9,52	9,85	10,17	10,50	10,82	11,15	11,47
5,50	8,77	9,11	9,46	9,80	10,15	10,49	10,84	11,18	11,53	11,87	12,22
5,75	9,31	9,68	10,04	10,41	10,77	11,14	11,50	11,87	12,23	12,60	12,96
6,00	9,89	10,27	10,64	11,02	11,39	11,77	12,14	12,52	12,89	13,27	13,64
6,25	10,46	10,85	11,23	11,62	12,00	12,39	12,77	13,16	13,51	13,93	14,31
6,50	11,04	11,44	11,85	12,25	12,66	13,06	13,47	13,87	14,28	14,68	15,09
6,75	11,63	12,05	12,48	12,90	13,33	13,75	14,18	14,60	15,03	15,45	15,88
7,00	12,22	12,66	13,10	13,54	13,98	14,42	14,86	15,30	15,74	16,18	16,62

ц а № 1.

ж е н і е).

4,50	d''	2 175	2,225	2,275	2,325	2,375	2,425	2,475	2,525	2,575	2,625	2,675	2,725
4,75	d''	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75
5,00	d''	2,225	2,275	2,325	2,375	2,425	2,475	2,525	2,575	2,625	2,675	2,725	2,775
5,25	d''	2,25	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80
5,50	d''	2,275	2,325	2,375	2,425	2,475	2,525	2,575	2,625	2,675	2,725	2,775	2,825
5,75	d''	2,30	2,35	2 40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85
6,00	d''	2,325	2,375	2,425	2,475	2,525	2,575	2,625	2,675	2,725	2,775	2,825	2,875
6,25	d''	2,35	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90
6,50	d''	2,375	2,425	2,475	2,525	2,575	2,625	2,675	2,725	2,775	2,825	2,875	2,925
6,75	d''	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90	2,95
7,00	d''	2,425	2,475	2,525	2,575	2,625	2,675	2,725	2,775	2,825	2,875	2,925	2,975

и ц а А.

стѣнокъ изъ сухой кладки типовъ № 1 и 2.

Высота стѣнки въ саж. H	Высота надсыпки (h') надъ стѣнкой въ саженяхъ:											
	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25
0,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,25	2,14	2,21	2,29	2,36	2,44	2,51	2,59	2,66	2,74	2,81	2,89	2,96
1,50	2,61	2,70	2,79	2,88	2,97	3,06	3,15	3,24	3,33	3,42	3,51	3,60
1,75	3,10	3,20	3,31	3,41	3,52	3,62	3,73	3,83	3,94	4,04	4,15	4,25
2,00	3,60	3,72	3,84	3,96	4,08	4,20	4.32	4,44	4,56	4.68	4,80	4,92
2,25	4,12	4,25	4,39	4,52	4,66	4,70	4,93	5,06	5,20	5,33	5,47	5,60
2,50	4,65	4,80	4,95	5,10	5,25	5,40	5,55	5,70	5,85	6,00	6,15	6,30
2,75	5,20	5,36	5,53	5,69	5,86	6,03	6,19	6,35	6,52	6,68	6,85	7,01
3,00	5,76	5,94	6,12	6,30	6,48	6,66	6,84	7,02	7,20	7,38	7,56	7,74
3,25	6,34	6,53	6,73	6,92	7,12	7,31	7,51	7,70	7 90	8,09	8,29	8,48
3,50	6,93	7,14	7,35	7,56	7,77	7,98	8,19	8,10	8,61	8,82	9,03	9,24
3,75	7,54	7,76	7,99	8,21	8,44	8,66	8,89	9,11	9,34	9,56	9,79	10,01
4,00	8,16	8,40	8,64	8,90	9,14	9,38	9,62	9,86	10,10	10,34	10,58	10,82
4,25	8,80	9,05	9,31	9,56	9,82	10,07	10,33	10,58	10,84	11,09	11,35	11,60
4,50	9,70	9,98	10,26	10 54	10,82	11,10	11,38	11,66	11,94	12,22	12,50	12,78
4,75	10,37	10,66	10,95	11,24	11,54	11,83	12,12	12,41	12,71	13,00	13,29	13,58
5,00	11,14	11,46	11,77	12,09	12,40	12,72	13,03	13,35	13,66	13,98	14,29	14,61
5 25	11,80	12,12	12,45	12,77	13,10	13,42	13,75	14,07	14,40	14,72	15,05	15,37
5,50	12,56	12,91	13,25	13,60	13,94	14,29	14,63	14,98	15,32	15,67	16,01	16,36
5,75	13,33	13,69	14,06	14,42	14,79	15,15	15,52	15,88	16,25	16,61	16,98	17,34
6,00	14,02	14,39	14,77	15,14	15,52	15,89	16,27	16,64	17,02	17,39	17,77	18,14
6,25	14,70	15,08	15,47	15,85	16,24	16,62	17,01	17,39	17,78	18,16	18,55	18,93
6,50	15,49	15,90	16,30	16,71	17,11	17,52	17,92	18,33	18,73	19,14	19,54	19,95
6,75	16,30	16,73	17,15	17,58	18,00	18,43	18,85	19,28	19,70	20,13	20,55	20,98
7,00	17,06	17,50	17,94	18,38	18,82	19,26	19,70	20,14	20,58	21,02	21,46	21,90

Табличка а

(для типа стѣнки № 1)

значеній $\lambda = \dfrac{1}{0{,}832\,(1 - {}^2/_3\,\mathrm{tg}\,\alpha)}$ **и** $\mu = \dfrac{1}{8{,}32\,(1 - {}^2/_3\,\mathrm{tg}\,\alpha)^2}$

при различныхъ уклонахъ косогора $\mathrm{tg}\,\alpha$.

$\mathrm{tg}\,\alpha$	λ	μ	$\mathrm{tg}\,\alpha$	λ	μ	$\mathrm{tg}\,\alpha$	λ	μ
0,10	1,29	0,14	0,30	1,50	0,19	0,50	1,80	0,27
0,12	1,31	0,14	0,32	1,53	0,19	0,52	1,84	0,28
0,14	1,33	0,15	0,34	1,55	0,20	0,54	1,88	0,29
0,16	1,35	0,15	0,36	1,58	0,21	0,56	1,92	0,31
0,18	1,37	0,16	0,38	1,61	0,22	0,58	1,96	0,32
0,20	1,39	0,16	0,40	1,64	0,22	0,60	2,00	0,33
0,22	1,41	0,17	0,42	1,67	0,23	0,62	2,05	0,35
0,24	1,43	0,17	0,44	1,70	0,24	0,64	2,10	0,37
0,26	1,45	0,18	0,46	1,73	0,25	0,66	2,15	0,38
0,28	1,48	0,18	0,48	1,77	0,26	0,68	2,20	0,40

Типъ № 2 стѣнки изъ сухой кладки.

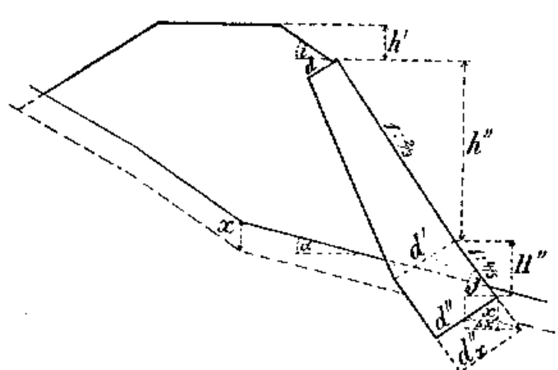
(Черт. № 2 и фиг. 17).

Толщина стѣнки опредѣляется выраженіями:

$$\left.\begin{aligned} d &= 0{,}60 + \frac{h'}{5}; \\ d' &= d + \frac{h''}{5} \\ d'' &= d' + \frac{H}{10} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (66).$$

Такъ какъ настоящій случай совершенно аналогиченъ предыдущему, то можно прямо написать слѣдующее выраженіе для величины приращенія $\Delta\omega$:

$$\Delta\omega = \frac{d''}{\mathrm{Sin}\,J\,(1 - {}^4/_5\,\mathrm{tg}\,\alpha)} \cdot x + \frac{1}{20\,\mathrm{Sin}\,J\,(1 - {}^4/_5\,\mathrm{tg}\,\alpha)^2}\; x^2, \quad \ldots\ldots (67').$$



Фиг. 17.

гдѣ Sin J = Sin (arc tg = $^5/_4$) = 0,781

поэтому

$$\Delta\omega = \frac{d''}{0{,}781\,(1-{}^4/_5\,tg\alpha)}\,x + \frac{1}{15{,}62\,(1-{}^4/_5\,tg\alpha)^2}\,x^2 \ldots\ldots \quad (67)$$

и приращеніе объема

$$\Delta V = \frac{(\Delta\omega_1 + \Delta\omega_2)}{2}\,L \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (68)$$

Для удобнѣйшаго пользованія формулой (67) также составлена слѣдующая табличка:

Табличка b

(для типа стѣнки № 2)

значеній $\lambda_1 = \frac{1}{0{,}781\,(1-{}^4/_5\,tg\alpha)}$ **и** $\mu_1 = \frac{1}{15{,}62\,(1-{}^4/_5\,tg\alpha)^2}$

при различныхъ уклонахъ tgα.

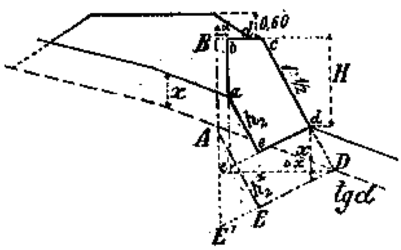
tgα	λ_1	μ_1	tgα	λ_1	μ_1	tgα	λ_1	μ_1
0,10	1,39	0,08	0,30	1,68	0,11	0,50	2,13	0,18
0,12	1,42	0,08	0,32	1,72	0,12	0,52	2,19	0,19
0,14	1,44	0,08	0,34	1,76	0,12	0,54	2,25	0,20
0,16	1,47	0,08	0,36	1,80	0,13	0,56	2,32	0,21
0,18	1,49	0,09	0,38	1,85	0,13	0,58	2,39	0,22
0,20	1 52	0,09	0,40	1,89	0,14	0,60	2,46	0,23
0,22	1,56	0,09	0,42	1,93	0,15	—	—	—
0,24	1,59	0,10	0,44	1,98	0,15	—	—	—
0,26	1,62	0,10	0,46	2,03	0,16	—	—	—
0,28	1,65	0,11	0,48	2,08	0,17	—	—	—

Типъ № 5 стѣнки изъ сухой кладки.

(черт. № 5 и фиг. 18).

Размѣры стѣнки:

$$\left.\begin{aligned} d &= 0{,}50 + \frac{1}{8}\,H \\ \text{и } d' &= d + \frac{3}{8}\,H \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (69)$$



Фиг. 18.

Площадь (ω) поперечнаго сѣченія стѣнки (bcdea). (фиг. 18) можно разсматривать, какъ разность площадей:

$$\omega = bcde'a - ee'a,$$

при чемъ

$$ea = h_2 \text{ и } ee' = \frac{h_2}{2};$$

слѣдовательно

$$\text{пл. } ee'a = \frac{(h_2)^2}{4}$$

и

$$\omega = bcde'a - \frac{(h_2)^2}{4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (70).$$

Съ повышеніемъ проектной линіи на величину (x) толщина поверху (d) приметъ значеніе

$$d_x = 0{,}50 + \frac{H + x + \Delta x}{8} = d + \frac{(x + \Delta x)}{8},$$

т. е. получитъ приращеніе

$$\Delta d = \frac{(x + \Delta x)}{8};$$

величина $\frac{(x + \Delta x)}{8}$ представляется аналогично (62) слѣдующимъ выраженіемъ

$$(x + \Delta x) = \frac{x}{1 - {}^1/_2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{x}{n};$$

$$\text{слѣдовательно } \Delta d = \frac{x}{8n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (71).$$

Новая площадь поперечнаго сѣченія (ω_x) тоже можетъ быть выражена разностью (фиг. 18):

$$\omega_x = BcDE' - \frac{(h_2)^2_x}{4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (72).$$

Соединяя выраженія (70) и (72) найдемъ, что приращеніе площади опредѣляется равенствомъ:

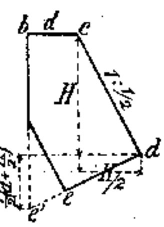
$$\Delta \omega_x = \omega_x - \omega = \left(BcDE' - \frac{(h_2)^2_x}{4}\right) - \left(bcde' - \frac{(h_2)^2}{4}\right) \quad \ldots\ldots \quad (73).$$

Фиг. 19 даетъ намъ слѣдующее значеніе площади bcde':

$$bcde' = \frac{1}{2}\left(d + d + \frac{H}{2}\right) H + \frac{1}{4}\left(d + \frac{H}{2}\right)^2,$$

или

$$bcde' + (0{,}50 + 0{,}375\ H)\ H + \frac{(0{,}50 + 0{,}625\ H)^2}{4};$$



Фиг. 19.

совершенно такъ же находится и площадь BcDE′, а именно:

$$\mathrm{BcDE'} = [0{,}50 + 0{,}375\,(\mathrm{H} + \mathrm{x} + \Delta\mathrm{x})]\,(\mathrm{H} + \mathrm{x} + \Delta\mathrm{x}) + \frac{[0{,}50 + 0{,}625(\mathrm{H} + \mathrm{x} + \Delta\mathrm{x})]^2}{4},$$

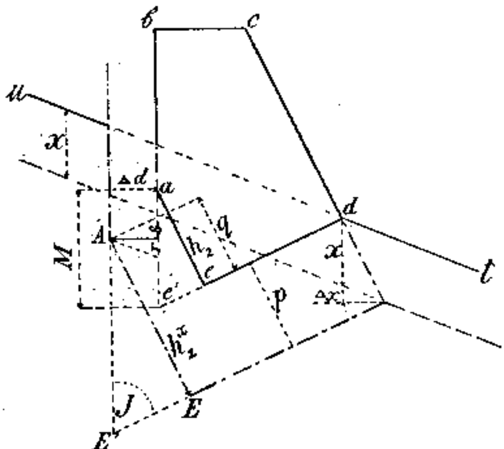
или

$$\mathrm{BcDE'} = \mathrm{bcde'} = (0{,}656 + 0{,}945\ \mathrm{H})\,(\mathrm{x} + \Delta\mathrm{x}) + 0{,}4725\,(\mathrm{x} + \Delta\mathrm{x})^2\,. \quad \ldots (74')$$

что, въ свою очередь, равно:

$$\mathrm{BcDE'} = \mathrm{bcde'} + (0{,}656 + 0{,}945\ \mathrm{H})\,\frac{\mathrm{x}}{\mathrm{n}} + 0{,}4725\left(\frac{\mathrm{x}}{\mathrm{n}}\right)^2 \ldots\ldots\ldots\ (74).$$

Чтобы опредѣлить величину $\frac{(\mathrm{h}_2)^2_{\mathrm{x}}}{4}$ обратимся къ фиг. 20.



Фиг. 20.

Проведя изъ точки A двѣ линіи параллельно (e′d) и (ut) до пересѣченія съ линіей (be′) получимъ отрѣзки (s) и (r), при чемъ (см. 71):

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{s} &= \frac{\Delta\mathrm{d}}{2} = \frac{\mathrm{x}}{2\,(8\mathrm{n})} \\ \text{и}\qquad \mathrm{r} &= \Delta\mathrm{d}.\mathrm{tg}\alpha = \frac{\mathrm{x}}{8\mathrm{n}}.\ \mathrm{tg}\alpha \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ (75).$$

Далѣе,

$$(\mathrm{h}_2)_{\mathrm{x}} = (\mathrm{p} + \mathrm{q}),$$

гдѣ

$$\mathrm{p} + \frac{\mathrm{x} + \Delta\mathrm{x}}{\mathrm{Sin\ J}} = \frac{\mathrm{x}}{\mathrm{n.\ Sin\ J}}, \ldots\ldots\ldots\ (76)$$

величина же (q) найдется изъ подобія $\triangle^{\text{овъ}}$, а именно:

$$\frac{\mathrm{q}}{\mathrm{h}_2} = \frac{\mathrm{M} - \mathrm{x} + (\mathrm{s} + \mathrm{r})}{\mathrm{M}} + 1 - \frac{\mathrm{x} - \mathrm{r} - \mathrm{s}}{\mathrm{M}},$$

откуда

$$\mathrm{q} = \mathrm{h}_2 - \frac{(\mathrm{x} - \mathrm{r} - \mathrm{s})\ \mathrm{h}_2}{\mathrm{M}};$$

но

$$M = \frac{h_2}{\operatorname{Sin} J},$$

поэтому

$$q = h_2 - (x - r - s)\operatorname{Sin} J; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (77')$$

подставляя сюда вмѣсто (r) и (s) ихъ значенія изъ (75) будемъ имѣть:

$$q = h_2 - \left[1 - \frac{(\frac{1}{2} + \operatorname{tg}\alpha)}{8n}\right] x \operatorname{Sin} J \quad \ldots\ldots\ldots \quad (77)$$

Такимъ образомъ величина $(h_2)_x$ опредѣлится слѣдующимъ выраженіемъ:

$$(h_2)_x = p + q = \frac{x}{n.\operatorname{Sin} J} + h_2 - \left[1 - \frac{(\frac{1}{2} + \operatorname{tg}\alpha)}{8n}\right] x.\operatorname{Sin} J,$$

или

$$(h_2)_x = h_2 + x\left[\frac{1}{n \operatorname{Sin} J} - \operatorname{Sin} J + \frac{\operatorname{Sin} J}{8}\left(\frac{1}{2} + \operatorname{tg}\alpha\right)\right]; \quad \ldots \quad (78')$$

и такъ какъ $\operatorname{Sin} J = \operatorname{Sin}(\operatorname{arctg} = 2) = 0{,}446$

и $n = (1 - {}^1/_2 \operatorname{tg}\alpha)$,

то окончательно:

$$(h_2)_x = h_2 + x\left[\frac{2{,}24 - 0{,}446\,(1 - {}^1/_2\operatorname{tg}\alpha) + 0{,}056\,(\frac{1}{2} + \operatorname{tg}\alpha)}{(1 - {}^1/_2\operatorname{tg}\alpha)}\right] =$$

$$= h_2 + x\left[\frac{1{,}822 + 0{,}279 + \operatorname{tg}\alpha}{1 - {}^1/_2\operatorname{tg}\alpha}\right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (78'')$$

обозначая коэффиціентъ при x черезъ N, можемъ полученное выраженіе переписать сокращенно такъ:

$$(h_2)_x = h_2 + Nx \quad \ldots\ldots\ldots \quad (78).$$

Искомая площадь, поэтому, равна:

$$\frac{(h_2)^2_x}{4} = \frac{(h_2)^2}{4} + \frac{h_2 Nx}{2} + \frac{N^2x^2}{4}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (79).$$

а общая величина приращенія всей площади ($\Delta\omega_x$) выразится на основаніи (73), (74) и (79) слѣдующей формулой:

$$\Delta\omega_x = \frac{(0.656 + 0{,}945\ H)}{(1 - {}^1/_2\operatorname{tg}\alpha)}.\,x + \frac{0.4725}{(1 - {}^1/_2\operatorname{tg}\alpha)^2}\,x^2 - \left[\frac{h_2Nx}{2} + \frac{N^2x^2}{4}\right],$$

или

$$\Delta\omega_x = \left[\frac{(0{,}656 + 0{,}945\ H)}{(1 - {}^1/_2\operatorname{tg}\alpha)} - \frac{h_2N}{2}\right]x - \left[\frac{N^2}{4} - \frac{0{,}4725}{(1 - {}^1/_2\operatorname{tg}\alpha)^2}\right]x^2, \quad \ldots\ldots \quad (80).$$

а въ сокращенномъ видѣ:

$$\Delta\omega_x = (C_1 + C_2 - C_3)\,x - C_4x^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (80)$$

Для значеній C_1, C_2, C_3 и C_4 при различныхъ ($tg\alpha$) составлены нижеслѣдующія таблички:

Табличка значеній $C_1 = \frac{0{,}656}{(1 - {}^1/_2\ tg\,\alpha)}$

(къ типу стѣнки № 5 изъ сухой кладки).

$tg\,\alpha =$	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
$C_1 =$	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0 81	0,82
$tg\,\alpha =$	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
$C_1 =$	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,94
$tg\,\alpha =$	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
$C_1 =$	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99	1,01	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09

Табличка значеній $C_2 = \frac{0{,}945\ H}{1 - {}^1/_2\ tg\,\alpha}$; (къ типу № 5).

$tg\,\alpha$ \ H	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,20	1,050	2,100	3,150	4,200	5,250	6,300	7,350	8,400	9,450
0,22	1,062	2,124	3,186	4,248	5,310	6,372	7,434	8,496	9,558
0,24	1,074	2,148	3,222	4,296	5,370	6.444	7,518	8,592	9,666
0,26	1,086	2,172	3,258	4,344	5,430	6,516	7,602	8,688	9,774
0,28	1,099	2,198	3,297	4,396	5,495	6,594	7,693	8,792	9,891
0,30	1,112	2,224	3,336	4,448	5,560	6.672	7,784	8,896	10,008
0,32	1,125	2,250	3,375	4,500	5,625	6,750	7,875	9,000	10,125
0,34	1,139	2,278	3,417	4.556	5,695	6,834	7,973	9,112	10,251
0,36	1,152	2,304	3,456	4,608	5,760	6,912	8,064	9,216	10,368
0,38	1,167	2,334	3,501	4,668	5,835	7,002	8,169	9,336	10,503
0,40	1,181	2,362	3.543	4,724	5,905	7 086	8,267	9,448	10,629
0,42	1,196	2,392	3,588	4,784	5,980	7,176	8,372	9,568	10,764
0,44	1,212	2,424	3,636	4,848	6,060	7,272	8,484	9,696	10,908
0,46	1,227	2,454	3,681	4,908	6,135	7,362	8,589	9,816	11,043
0,48	1,243	2,486	3,729	4,972	6,215	7,458	8,701	9,944	11,187
0,50	1,260	2,520	3,780	5,040	6,300	7,560	8,820	10,080	11,340
0,52	1.277	2,554	3,831	5,108	6,385	7,662	8,939	10,216	11,493
0,54	1,295	2,590	3,885	5,180	6,475	7,770	9,065	10,360	11,655
0,56	1,313	2,626	3,939	5,252	6,565	7,878	9,191	10,504	11,817
0,58	1,331	2,662	3,993	5,324	6,655	7,986	9,317	10,648	11,979
0,60	1,350	2 700	4,050	5,400	6,750	8,100	9,450	10,800	12,150
0,62	1,370	2,740	4,110	5,480	6,850	8,220	9,590	10,960	12,330
0,64	1,390	2,780	4,170	5,560	6,950	8,340	9,730	11,120	12,510
0,66	1,410	2,820	4,230	5,640	7,050	8,460	9,870	11,280	12,690
0,68	1,432	2,864	4,296	5,728	7,160	8,592	10,024	11,456	12,888
0,70	1,454	2,908	4,362	5,816	7,270	8,724	10,178	11,632	13,086
0,72	1,477	2,954	4,431	5,908	7,385	8,862	10,339	11,816	13,293
0,74	1,500	3,000	4,500	6,000	7,500	9,000	10,500	12,000	13,500
0,76	1,524	3,048	4,572	6,096	7,620	9,144	10,668	12,192	13,716
0,78	1,549	3,098	4,647	6,196	7,745	9,294	10,843	12,392	13,941
0,80	1,575	3,150	4,725	6,300	7,875	9,450	11,025	12,600	14,175

Табличка значенiй $C_3 = \frac{N}{2} h_2$; (къ типу стѣнки № 5).

$tg\,\alpha$ \ h_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,20	1,043	2,086	3,129	4,172	5,215	6,258	7,301	8,344	9,387
0,22	1,058	2,116	3,174	4,232	5,290	6,348	7,406	8,464	9,522
0,24	1,073	2,146	3,219	4,292	5,365	6,438	7,511	8,584	9,657
0,26	1,089	2,178	3,267	4,356	5,445	6,534	7,623	8,712	9,801
0,28	1,105	2,210	3,315	4,420	5,525	6,630	7,735	8,840	9,945
0,30	1,121	2,242	3,363	4,484	5,605	6,726	7,847	8,968	10,089
0,32	1,138	2,276	3,414	4,552	5,690	6,828	7,966	9,104	10,242
0,34	1,155	2,310	3,465	4,620	5,775	6,930	8,085	9,240	10,395
0,36	1,172	2,344	3,516	4,688	5,860	7,032	8,204	9,376	10,548
0,38	1,191	2,382	3,573	4,764	5,955	7,146	8,337	9,528	10,719
0,40	1,208	2,416	3,624	4,832	6,040	7,248	8,456	9,664	10,872
0,42	1,228	2,456	3,684	4,912	6,140	7,368	8,596	9,824	11,052
0,44	1,247	2,494	3,741	4,988	6,235	7,482	8,729	9,976	11,223
0,46	1,267	2,534	3,801	5,068	6,335	7,602	8,869	10,136	11,403
0,48	1,286	2,572	3,858	5,144	6,430	7,716	9,002	10,288	11,574
0,50	1,308	2,616	3,924	5,232	6,540	7,848	9,156	10,464	11,772
0,52	1,330	2,660	3,990	5,320	6,650	7,980	9,310	10,640	11,970
0,54	1,351	2,702	4,053	5,404	6,755	8,106	9,457	10,808	12,159
0,56	1,374	2,748	4,122	5,496	6,870	8,244	9,618	10,992	12,366
0,58	1,397	2,794	4,191	5,588	6,985	8,382	9,779	11,176	12,573
0,60	1,421	2,842	4,263	5,684	7,105	8,526	9,947	11,368	12,789
0,62	1,445	2,890	4,335	5,780	7,225	8,670	10,115	11,560	13,005
0,64	1,471	2,942	4,413	5,884	7,355	8,826	10,297	11,768	13,239
0,66	1,496	2,992	4,488	5,984	7,480	8,976	10,472	11,968	13,464
0,68	1,524	3,048	4,572	6,096	7,620	9,144	10,668	12,192	13,716
0,70	1,552	3,104	4,656	6,208	7,760	9,312	10,864	12,416	13,968
0,72	1,580	3,160	4,740	6,320	7,900	9,480	11,060	12,640	14,220
0,74	1,610	3,220	4,830	6,440	8,050	9,660	11,270	12,880	14,490
0,76	1,640	3,280	4,920	6,560	8,200	9,840	11,480	13,120	14,760
0,78	1,672	3,344	5,016	6,688	8,360	10,032	11,704	13,376	15,048
0,80	1,704	3,408	5,112	6,816	8,520	10,224	11,928	13,632	15,336

Табличка значенiй $C_4 = \left[\frac{N^2}{4} - \frac{0{,}4725}{(1 - {}^1/_2\ tg\,\alpha)^2}\right]$; (къ типу № 5).

$tg\,\alpha =$	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
$C_4 =$	0,51	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,63	0,65	0,67	0,70	0,72
$tg\,\alpha =$	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
$C_4 =$	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	0,91	0,94	0,98	1,02	1,06
$tg\,\alpha =$	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
$C_4 =$	1,06	1,10	1,14	1,19	1,24	1,29	1,34	1,40	1,46	1,53	1,59

Таблицы № 2 размѣровъ и площ. поп. сѣченій стѣнокъ изъ сухой кладки типа № 5.

Табличка B_1.

Высота стѣны H	Высота надсыпки (h′)	Толщина пò верху d	Площадь четырецъ (bcde′)
0,50	0,60	0,57	0,51
0,75	»	0,59	0,82
1,00	»	0,63	1,19
1,25	»	0,66	1,62
1,50	»	0,69	2,11
1,75	»	0,72	2,66
2,00	»	0,75	3,27
2,25	»	0,78	3,94
2,50	»	0,82	4,66

Табличка B_2 площадей $\triangle^{овъ}$ $\frac{(h_2)^2}{4}$.

h = +	0,00	1,00	2,00
0,00	—	0,250	1,000
0,10	0,003	0,303	1,130
0,20	0,010	0,360	1,210
0,30	0,025	0,425	1,323
0,40	0,040	0,490	1,440
0,50	0,063	0,563	1,563
0,60	0,090	0,640	1,690
0,70	0,130	0,723	1,823
0,80	0,160	0,810	1,960
0,90	0,230	0,903	2,103

Примѣчаніе:

1) Площадь стѣнки получается изъ табличекъ B_1 и B_2 какъ разность

$$\omega = bcde' - \frac{(h_2)^2}{4}.$$

2) Табличка B_2 составлена для величинъ h_2, измѣняющихся черезъ 0,10 саж.

Типы стѣнокъ №№ 6, 7, 8, 9, 19 и 11 (на растворѣ).

Размѣры стѣнокъ и площади поперечнаго сѣченія опредѣляются слѣдующими таблицами:

Таблица № 3

размѣровъ по верху въ саженяхъ для стѣнокъ типовъ №№ 6—11.

Высота стѣнки H.	Высота надсыпки (h′).														
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
1,00	0,46	0,46	0,46	0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60	0,63	0 65	—	—	—	—
1,25	0,53	0,54	0,55	0,58	0,60	0,63	0,64	0,67	0,69	0,72	0,74	—	—	—	—
1,50	0,60	0,62	0,64	0,67	0,70	0,72	0,73	0,76	0,78	0,81	0,83	0,85	—	—	—
1,75	0,68	0,70	0,72	0,76	0,80	0,81	0,82	0,85	0,87	0,90	0,92	0,94	—	—	—
2,00	0,76	0,78	0,80	0,85	0,87	0,88	0,90	0,93	0,95	0,98	1,00	1,03	1,05	—	—
2,25	0,78	0,83	0,87	0,90	0,95	0,96	0,02	1,04	1,05	1,08	1,10	1,14	1,17	—	—
2,50	0,80	0,88	0,93	0,95	1,00	1,05	1,13	1,14	1,15	1,18	1,20	1,24	1,28	—	—
2,75	0,85	0,93	0,99	1,02	1,05	1,08	1,23	1,25	1,26	1,28	1,30	1,35	1,39	—	—

3,00	0,90	0,98	1,05	1,10	1,15	1,20	1,30	1,33	1,35	1,38	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60
3,25	0,96	1,04	1,10	1,17	1,20	1,24	1,43	1,44	1,45	1,48	1,50	1,55	1,60	1,65	1,69
3,50	1,02	1,10	1,15	1,25	1,30	1,40	1,50	1,53	1,55	1,58	1,60	1,65	1,70	1,74	1,77
3,75	1,06	1,14	1,20	1,31	1,40	1,47	1,58	1,61	1,65	1,68	1,70	1,75	1,80	1,84	1,86
4,00	1,10	1,18	1,25	1,38	1,50	1,58	1,65	1,70	1,75	1,78	1,80	1,85	1,90	1,93	1,95
4,25	1,20	1,25	1,33	1,44	1,55	1,64	1,73	1,78	1,83	1,86	1,89	1,91	1,98	2,01	2,03
4,50	1,30	1,32	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,85	1,90	1,94	2,00	2,03	2,05	2,08	2,10
4,75	1,33	1,34	1,48	1,57	1,65	1,77	1,88	1,93	1,98	2,04	2,06	2,07	2,13	2,16	2,18
5,00	1,36	1,46	1,55	1,63	1,70	1,83	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,18	2,20	2,23	2,25
5.25	1,38	1,48	1,56	1,67	1,75	1,87	1,97	2,03	2,10	2,15	2,23	2,26	2,30	2,34	2,38
5,50	1,40	1,50	1,58	1,70	1,80	1,90	1,98	2,06	2,14	2,22	2,30	2,35	2,40	2,45	2,50

Таблица D

площадей поперечныхъ сѣченій стѣнъ на растворѣ типовъ №№ 6—11.

Высота стѣнки H.	Высота надсыпки (h′) надъ стѣнкой въ саж.							
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
1,00	0,604	0,604	0,604	0,626	0,649	0,683	0,706	0,741
1,25	0,880	0,893	0,908	0,950	0,979	1,021	1,035	1,078
1,50	1,206	1,240	1,273	1,324	1,375	1,409	1,426	1,477
1,75	1,602	1,641	1,681	1,759	1,839	1,858	1,878	1,938
2,00	2,055	2,099	2,144	2,256	2,301	2,324	2,369	2,437
2,25	2,413	2,538	2,638	2,714	2,840	2,865	3,017	3,068
2,50	2,794	3,015	3,154	3,210	3,350	3,490	3,716	3,744
2,75	3,290	3,533	3,716	3,808	3,900	3,992	4,456	4,518
3,00	3,825	4,090	4,322	4,489	4,656	4,824	5,161	5,262
3,25	4,435	4,722	4,938	4,972	5,299	5,443	6,136	6,173
3,50	5,091	5,399	5,592	5,980	6,175	6,566	6,959	7,077
3,75	5,709	6,038	6,287	6,743	7,119	7,412	7,874	8,001
4,00	6,361	6,712	7,020	7,595	8,129	8,486	8,800	9,025
4,25	7,327	7,560	7,934	8,451	8,970	9,396	9,824	10,063
4,50	8,359	8,458	8,854	9,351	9,850	10,351	10,854	11,106
4,75	9,091	9,145	9,877	10,349	10,770	11,404	11,987	12,258
5,00	9,857	10,405	10,900	11,312	11,729	12,451	13,120	13,400
5,25	10,592	11,166	11,627	12,264	12,728	13,426	14,011	14,362
5,50	11,350	11,951	12,433	13,159	13,766	14,375	14,864	15,354

Таблица D

(Продолженіе).

Высота стѣнки H.	Высота надсыпки (h′) надъ стѣнкой въ саж.						
	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
1,00	0,764	0,799	0,822	—	—	—	—
1,25	1,107	1,150	1,179	—	—	—	—
1,50	1,511	1,563	1,598	1,632	—	—	—
1,75	1,978	2,038	2,078	2,118	—	—	—

Высота H	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
2,00	2,482	2,550	2,596	2,664	2,710	—	—
2,25	3,094	3,170	3,222	3,324	3,401	—	—
2,50	3,772	3,857	3,914	4,028	4,142	—	—
2,75	4,549	4,611	4,674	4,830	4,955	—	—
3,00	5,330	5,432	5,500	5,670	5,841	6,012	6,184
3,25	6,210	6,320	6,394	6,556	6,763	6,948	7,096
3,50	7,156	7,275	7,354	7,552	7,751	7,910	8,030
3,75	8,170	8,297	8,382	8,594	8,807	8,977	9,062
4,00	9,250	9,386	9,476	9,702	9,929	10,065	10,156
4,25	10,302	10,446	10,590	10,658	11,022	11,167	11,263
4,50	11,359	11,562	11,866	12,018	12,120	12,273	12,375
4,75	12,520	12,810	12,947	13,001	13,322	13,483	13,591
5,00	13,680	13,961	14,242	14,411	14,524	14,693	14,806
5,25	14,774	15,068	15,540	15,717	15,954	16,190	16,428
5,50	15,845	16,337	16,831	17,140	17,450	17,760	18,071

Табличка „d“ площадей $\triangle^{\text{овъ}} \frac{(h_2)^2}{10}$.

h_2 \ $\frac{1}{l}$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
0,00	—	0,000	0,001	0,003	0,004	0,006	0,009	0,012	0,016	0,020
1,00	0,100	0,110	0,121	0,131	0,144	0,156	0,169	0,182	0,196	0,210
2,00	0,400	0,420	0,441	0,462	0,484	0,506	0,529	0,552	0,576	0,600
3,00	0,900	0,930	0,961	0,992	1,024	1,056	1,089	1,122	1,156	1,190
4,00	1,600	1,640	1,681	1,722	1,764	1,806	1,849	1,892	1,936	1,980

h_2 \ $\frac{1}{l}$	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,00	0,025	0,030	0,036	0,042	0,049	0,056	0,064	0,072	0,081	0,090
1,00	0,225	0,240	0,256	0,272	0,289	0,306	0,324	0,342	0,361	0,380
2,00	0,625	0,650	0,676	0,702	0,729	0,756	0,784	0,812	0,841	0,870
3,00	1,225	1,253	1,296	1,332	1,369	1,406	1,444	1,482	1,521	1,560
4,00	2,025	2,070	2,116	2,162	2,209	2,256	2,304	2,352	2,401	2,450

Площадь поперечнаго сѣченія стѣнки, какъ и въ типѣ № 5, выражается аналогичной формулой:

$$\omega = (d + 0{,}10\,H)\,H + \frac{(d + 0{,}20\,H)^2}{10} - \frac{(h_2)^2}{10} = \left[\omega' - \frac{(h_2)^2}{10}\right] \quad (81).$$

Съ повышеніемъ проектной линіи на величину (x) площадь принимаетъ значеніе

$$\omega_x = \left[d + \varphi x + 0{,}10\left(H + \frac{x}{n}\right)\right]\left(H + \frac{x}{n}\right) + \frac{\left[d + \varphi(x) + 0{,}20\left(H + \frac{x}{n}\right)\right]^2}{10} - \frac{(h_2)^2_x}{10} \quad (82)$$

Такъ какъ настоящее выраженіе значительно усложняется видомъ функціи

$$d_x = d + \varphi(x),$$

то въ практикѣ удобнѣе пользоваться приведенными ниже эмпирическими формулами, выражающими величину площади

$$\omega' = (d + 0{,}10\,H)\,H + \frac{(d + 0{,}20\,H)^2}{10}.$$

Примѣчаніе: Формулы эти составлены для различныхъ предѣловъ H; поэтому, чтобы пользоваться ими съ должной правильностью въ томъ случаѣ, когда отыскиваемая величина (x) выходитъ изъ предѣловъ примѣненія какой-либо взятой формулы, слѣдуетъ имѣть въ виду все сказанное ниже, въ концѣ отдѣла искусственныхъ сооруженій.

Съ помощью эмпирическихъ формулъ площадь сѣченія стѣнки вообще выразится такъ:

$$\omega = a + bH + cH^2 - \frac{(h_2)^2}{10} = \left[\omega' - \frac{(h_2)^2}{10}\right] \quad \ldots\ldots\ldots (83).$$

Съ повышеніемъ же проектной линіи на величину (x), высота стѣнки будетъ равна

$$H_x = H + (x + \Delta x) = H + \frac{x}{(1 - {}^1/_5\,\mathrm{tg}\,\alpha)} = H + \frac{x}{n} \quad \ldots\ldots\ldots (84)$$

а площадь отбрасываемаго $\Delta^{ка} = \frac{(h_2)^2{}_x}{10}$; поэтому площадь стѣнки выразится такъ:

$$\omega_x = a + b\left(H + \frac{x}{n}\right) + c\left(H + \frac{x}{n}\right)^2 - \frac{(h_2)^2{}_x}{10},$$

или:

$$\omega_x = \omega' + \frac{(b + 2cH)}{n}\,x + \frac{c}{n^2}\,.\,x^2 - \frac{(h_2)^2{}_x}{10} \quad \ldots\ldots\ldots (85).$$

Что касается величины $\frac{(h_2)^2{}_x}{10}$, то принявъ обозначеніе:

$$\frac{(h_2)^2}{10} = \tau \text{ и } \frac{(h_2)^2{}_x}{10} = \tau_x\,,$$

можно безъ особой погрѣшности положить, что

$$\frac{\tau_x}{\tau} = \frac{\left(H + \frac{x}{n}\right)^2}{H^2} = \left(1 + \frac{x}{Hn}\right)^2,$$

т. е.

$$\tau_x = \tau\,.\left(1 + \frac{x}{Hn}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots (86$$

а слѣдовательно.

$$\omega_x = \omega' + \frac{(b + 2cH)}{n}\,x + \frac{c}{n^2}\,x^2 - \tau\left(1 + \frac{x}{Hn}\right)^2; \quad \ldots\ldots (87)$$

приращеніе площади выразится:

$$\Delta\omega_x = \frac{(b+2cH)}{n} x + \frac{c}{n^2} . x^2 - \tau\left(1+\frac{x}{Hn}\right) + \cdot$$

$$\text{или } \Delta\omega_x = \frac{\left(b+2cH\right)-\frac{2\tau}{H}}{n} . x + \frac{\left(c-\frac{\tau}{H}\right)}{n^2} x^2 \quad \ldots\ldots \quad (88).$$

Чтобъ облегчить вычисленія ниже даны таблицы E и F значеній

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{(1 - {}^1/_5 \operatorname{tg}\alpha)} \text{ и } \frac{1}{n^2}$$

для различныхъ уклоновъ $\operatorname{tg}\alpha$.

Эмпирическія формулы для выраженія площадей поперечныхъ сѣченій [1]) стѣнокъ на растворѣ типовъ №№ 6, 7, 8, 9, 10 и 11.

I. Надсыпка $h' = 0{,}00$.

1) $H = (1{,}00—2{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}141 - 0{,}031\ H + 0{,}494\ H^2.$$

2) $H = (2{,}00—2{,}50)$:

$$\omega' = 0{,}027 + 0{,}646\ H + 0{,}184\ H^2.$$

3) $H = (2{,}50—4{,}00)$: $\omega' = -0{,}618 + 0{,}732\ H + 0{,}253\ H^2.$

4) $H = (4{,}00—4{,}50)$:

$$\omega' = 0{,}025 - 0{,}560\ H + 0{,}536\ H^2.$$

5) $H = (4{,}50—5{,}50)$:

$$\omega' = -5{,}348 + 3{,}091\ H - 0{,}010\ H^2.$$

II. Надсыпка $h' = 0{,}50$.

1) $H = (1{,}00—2{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}001 + 0{,}157\ H + 0{,}446\ H$$

2) $H = (2{,}00—3{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}025 + 0{,}401\ H + 0{,}318\ H^2.$$

3) $H = (3{,}00—4{,}00)$; $\omega' = -3{,}680 + 2{,}566\ H + 0{,}008\ H^2.$

4) $H = (4{,}00—5{,}00)$:

$$\omega' = -0{,}015 + 0{,}074\ H + 0{,}402\ H^2.$$

5) $H = (5{,}00—5{,}50)$:

$$\omega' = 0{,}225 + 1{,}076\ H + 0{,}192\ H^2.$$

---

1) Согласно даннымъ таблицы D.

III. Надсыпка $h' = 1{,}00$.

1) $H = (1{,}00—2{,}00)$:

$$\omega' = -0{,}128 + 0{,}328\,H + 0{,}404\,H^2.$$

2) $H = (2{,}00—3{,}00)$:

$$\omega' = -0{,}316 + 0{,}598\,H + 0{,}316\,H^2.$$

3) $H = (3{,}00—4{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}020 + 0{,}486\,H + 0{,}316\,H^2.$$

4) $H = (4{,}00—5{,}00)$: $\omega' = -0{,}055 + 0{,}074\,H + 0{,}424\,H^2$;

5) $H = (5{,}00—5{,}50)$:

$$\omega' = 12{,}950 - 3{,}570\,H + 0{,}632\,H^2.$$

IV. Надсыпка $h' = 1{,}50$.

1) $H = (1{,}00—2{,}00)$:

$$\omega' = -0{,}068 + 0{,}226\,H + 0{,}468\,H^2.$$

2) $H = (2{,}00—2{,}50)$:

$$\omega' = -0{,}040 + 0{,}540\,H + 0{,}304\,H^2.$$

3) $H = (2{,}50—3{,}50)$:

$$\omega' = -0{,}005 + 0{,}226\,H + 0{,}424\,H^2.$$

4) $H = (3{,}50—5{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}009 + 0{,}402\,H + 0{,}373\,H^2.$$

5) $H = (5{,}00—5{,}50)$:

$$\omega' = -12\,768 + 5{,}902\,H - 0{,}216\,H^2.$$

V. Надсыпка $h' = 2{,}00$.

1) $H = (1{,}00—1{,}75)$:

$$\omega' = -0.004 + 0{,}120\,H + 0\,533\,H^2.$$

2) $H = (1{,}75—2{,}75)$:

$$\omega' = -1{,}222 + 1{,}530\,H + 0{,}118\,H^2.$$

3) $H = (2{,}75—3{,}25)$:

$$\omega' = -11{,}874 + 8{,}222\,H - 0{,}904\,H^2.$$

4) $H = (3{,}25—4)$:

$$\omega' = -0{,}002 - 0{,}112\,H + 0{,}536\,H^2.$$

5) $H = (4{,}00—5{,}50)$:

$$\omega' = 0{,}032 + 0{,}760\,H + 0{,}316\,H^2.$$

VI. Надсыпка $h' = 2{,}50$.

1) $H = (1{,}00—1{,}75)$:

$$\omega' = -0{,}080 + 0{,}305\,H + 0{,}459\,H^2.$$

2) $H = (1{,}75—2{,}50)$:

$$\omega' = 0{,}780 - 0{,}476\,H + 0{,}624\,H^2.$$

3) $H = (2,50—3,00)$:

$$\omega' = 16,620 — 11,852\ H + 2,640\ H^2.$$

4) $H = (3,00—3,50)$:

$$\omega' = 36,708 — 22,724\ H + 4,032\ H^2.$$

5) $H = (3.50—4,00)$:

$$\omega' = 18,662 — 9,840\ H + 1,824\ H^2.$$

6) $H = (4,00—5,00)$:

$$\omega' = 2,030 — 0,265\ H + 0,470\ H^2.$$

7) $H = (5,00—5,50)$:

$$\omega' = —12,509 + 6,032\ H — 0,208\ H^2.$$

VII. Надсыпка $h' = 3,00$.

1) $H = (1,00—2,00)$:

$$\omega' = —0,063 + 0,325\ H + 0,446\ H^2.$$

2) $H = (2,00—2,75)$:

$$\omega' = —1,100 + 0,973\ H + 0,381\ H^2.$$

3) $H = (2,75—3,25)$:

$$\omega' = 14,521 — 9,600\ H + 2,160\ H^2.$$

4) $H = (3,25—5,00)$:

$$\omega' = 0,305 + 0,369\ H + 0,439\ H^2.$$

5) $H = (5,00—5,50)$:

$$\omega' = —12,680 + 6,680\ H — 0,304\ H^2.$$

VIII. Надсыпка $h' = 3,50$.

1) $H = (1,00—2,00)$:

$$\omega' = —0,056 + 0,352 + 0,448\ H^2.$$

2) $H = (2,00—3,25)$:

$$\omega' = —0,770 + 0,742\ H + 0,428\ H^2.$$

3) $H = (3,25—5,00)$:

$$\omega' = —1,940 + 1,432\ H + 0,327\ H^2.$$

4) $H = (5,00—5,50)$:

$$\omega' = 0,460 + 1,388\ H + 0,240\ H^2.$$

IX. Надсыпка $h' = 4,00$.

1) $H = (1,00—2,25)$:

$$\omega' = 0,005 + 0,268\ H + 0,491\ H^2.$$

2) $H = (2,25—4,00)$:

$$\omega' = 0,002 + 0.168\ H + 0,536\ H^2.$$

3) $H = (4,00—5,00)$:

$$\omega' = 0,015 + 0,614\ H + 0,424\ H^2.$$

4) $H = (5,00—5,50)$:

$$\omega' = —13,030 + 6,262\ H — 0,184\ H^2.$$

X. Надсыпка $h' = 4,50$.

1) $H = (1,00—2,00)$:

$$\omega' = -0,165 + 0,563\ H + 0,396\ H^2.$$

2) $H = (2,00—4,00)$:

$$\omega' = 0,002 + 0,202\ H + 0,536\ H^2.$$

3) $H = (4,00—4,75)$:

$$\omega' = 10,220 - 4,258\ H + 1,013\ H^2.$$

4) $H = (4,75—5,50)$:

$$\omega' = -7,150 + 3,734\ H + 0,097\ H^2.$$

XI. Надсыпка $h' = 5,00$.

1) $H = (1,00—2,00)$:

$$\omega' = -0,165 + 0,584\ H + 0,397\ H^2.$$

2) $H = (2,00—4,50)$:

$$\omega' = 0,004 + 0,224\ H + 0,536\ H^2.$$

3) $H = (4,50—5,00)$:

$$\omega' = 29,344 - 11,660\ H + 1,728\ H^2.$$

4) $H = (5,00—5,50)$:

$$\omega' = -13,199 + 5,768\ H - 0,056\ H^2.$$

XII. Надсыпка $h' = 5,50$.

1) $H = (1,50—2,00)$:

$$\omega' = -0,024 + 0,384\ H + 0,480\ H^2.$$

2) $H = (2,00—4,00)$:

$$\omega' = -0,270 + 0,441\ H + 0,513\ H^2.$$

3) $H = (4,00—4,50)$:

$$\omega' = 49,350 - 22,840\ H + 3,232\ H^2.$$

4) $H = (4,50—5,00)$:

$$\omega' = 67,341 - 27,666\ H + 3,416\ H^2.$$

5) $H = (5,00—5,50)$:

$$\omega' = 12,861 - 4,370\ H + 0,936\ H^2.$$

XIII. Надсыпка $h' = 6,00$.

1) $H = (2,00—3,00)$:

$$\omega' = -0,358 + 0,470\ H + 0,532\ H^2.$$

2) $H = (3,00—4,00)$:

$$\omega' = 0,009 + 0,336\ H + 0,536\ H^2.$$

3) $H = (4,00—5,00)$:

$$\omega' = 0,080 + 0,761\ H + 0,426\ H^2.$$

4) $H = (5,00—5,50)$:

$$\omega' = -0,216 + 0,308\ H + 0,528\ H^2.$$

XIV. **Надсыпка $h' = 6{,}50$.**

1) $H = (3{,}00-4{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}030 + 0{,}455\ H + 0{,}514\ H^2.$$

2) $H = (4{,}00-5{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}043 + 0{,}812\ H + 0{,}424\ H^2.$$

3) $H = (5{,}00-5{,}50)$:

$$\omega' = 0{,}083 + 0{,}002\ H + 0{,}584\ H^2.$$

XV. **Надсыпка $h' = 7{,}00$.**

1) $H = (3{,}00-4{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}992 + 0{,}052\ H + 0{,}560\ H^2.$$

2) $H = (4{,}00-5{,}00)$:

$$\omega' = 0{,}045 + 0{,}834\ H + 0{,}424\ H^2.$$

3) $H = (5{,}00-5{,}50)$:

$$\omega' = -13{,}224 + 4{,}766\ H + 0{,}168\ H^2.$$

Таблица E

значеній $\frac{1}{n} = \frac{1}{(1 - {}^1/_5 \operatorname{tg} \alpha)}$

tg α	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,30	1,064	2,128	3,192	4,256	5,320	6,384	7,488	8,512	9,576
0,32	1,068	2,136	3,204	4,272	5,340	6,408	7,476	8,544	9,612
0,34	1,073	2,146	3,219	4,292	5,365	6,438	7,511	8,584	9,657
0,36	1,078	2,156	3,234	4,312	5,390	6,468	7,546	8,624	9,702
0,38	1,082	2,164	3,246	4,328	5,410	6,492	7,574	8,656	9,738
0,40	1,087	2,174	3,261	4,348	5,435	6,522	7,609	8,696	9,783
0,42	1,092	2,184	3,276	4,368	5,460	6,552	7,644	8,736	9,828
0,44	1,096	2,192	3,288	4,384	5,480	6,576	7,672	8,768	9,864
0,46	1,101	2,202	3,303	4,404	5,505	6,606	7,707	8,808	9,909
0,48	1,106	2,212	3,318	4,424	5,530	6,636	7,742	8,848	9,954
0,50	1,111	2,222	3,333	4,444	5,555	6,666	7,777	8,888	9,999
0,52	1,116	2,232	3,348	4,464	5,580	6 696	7,812	8,928	10,044
0,54	1,121	2,242	3,363	4,484	5,605	6.726	7,847	8,968	10,089
0,56	1,126	2,252	3,378	4,504	5,630	6,756	7,882	9,008	10,134
0,58	1,131	2,262	3,393	4,524	5,655	6,786	7,917	9,048	10,179
0,60	1,136	2,272	3,408	4,544	5,680	6,816	7,952	9,088	10,224
0,62	1,142	2,284	3,426	4,568	5,710	6,852	7,994	9,136	10.278
0,64	1,147	2,294	3,441	4,588	5,735	6,882	8,023	9,176	10,323
0,66	1,152	2,304	3,456	4,608	5,760	6,912	8,064	9,216	10,368
0,68	1,157	2,314	3,471	4,628	5,785	6,942	8,099	9,256	10,413
0,70	1,163	2,326	3,489	4,652	5,815	6,978	8,141	9,304	10,467
0,72	1,168	2,336	3,504	4,672	5,840	7,008	8,176	9,344	10,512
0,74	1,174	2,348	3,522	4,696	5,870	7,044	8,218	9,392	10,566
0,76	1,179	2,358	3,537	4,716	5,895	7,074	8,253	9.432	10,611
0,78	1,185	2,370	3,555	4,740	5,925	7,110	8,295	9,480	10,665
0,80	1,190	2,380	3,570	4.760	5,950	7,140	8,330	9,520	10,710
0,82	1,196	2,392	3,588	4,784	5,980	7,176	8,372	9,568	10,764
0,84	1,202	2,404	3,606	4,808	6,010	7,212	8,414	9,616	10,818
0,86	1,208	2,416	3,624	4,832	6,040	7,248	8,456	9,664	10,872
0,88	1,214	2,428	3,642	4,856	6,070	7,284	8,498	9,712	10,926
0,90	1,220	2,440	3,660	4,880	6,100	7,320	8,540	9,760	10,980
0,92	1,225	2,450	3,675	4,900	6,125	7,350	8,575	9,800	11,025
0,94	1,232	2,464	3,696	4,928	6,160	7,392	8,624	9,856	11,088
0,96	1,238	2,476	3,714	4,952	6,190	7,428	8,666	9,904	11,142
0,98	1,244	2,488	3,732	4,976	6,220	7,464	8,708	9,952	11,196
1,00	1,250	2,500	3,750	5,000	6,250	7,500	8,750	10,000	11,250

Таблица F

значеній $\frac{1}{n^2} = \frac{1}{(1-{}^1/_5 \operatorname{tg}\alpha)^2}$ при различныхъ косогорахъ $\operatorname{tg}\alpha$.

$\operatorname{tg}\alpha$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,30	1,132	2,264	3,396	4,528	5,660	6,792	7,924	9,056	10,188
0,32	1,141	2,282	3,423	4,564	5,705	6,846	7,987	9,128	10,269
0,34	1,151	2,302	3,453	4,604	5,755	6,906	8,057	9,208	10,359
0,36	1,162	2,324	3,486	4,648	5,810	6,972	8,134	9,296	10,458
0,38	1,171	2,342	3,513	4,684	5,855	7,026	8,197	9,368	10,539
0,40	1,182	2,364	3,546	4,728	5,910	7,092	8,274	9,456	10,638
0,42	1,192	2,384	3,576	4,768	5,960	7,152	8,344	9,536	10,728
0,44	1,201	2,402	3,603	4,804	6,005	7,206	8,407	9,608	10,809
0,46	1,212	2,424	3,636	4,848	6,060	7,272	8,484	9,696	10,908
0,48	1,223	2,446	3,669	4,892	6,115	7,338	8,561	9,784	11,007
0,50	1,234	2,468	3,702	4,936	6,170	7,404	8,638	9,872	11,106
0,52	1,245	2,490	3,735	4,980	6,225	7,470	8,715	9,960	11,205
0,54	1,257	2,514	3,771	5,028	6,285	7,542	8,799	10,056	11,313
0,56	1,268	2,536	3,804	5,072	6,340	7,608	8,876	10,144	11,412
0,58	1,279	2,558	3,837	5,116	6,395	7,674	8,953	10,232	11,511
0,60	1,290	2,580	3,870	5,160	6,450	7,740	9,030	10,320	11,610
0,62	1,304	2,608	3,912	5,216	6,520	7,824	9,128	10,432	11,736
0,64	1,316	2,632	3,948	5,264	6,580	7,896	9,212	10,528	11,844
0,66	1,327	2,654	3,981	5,308	6,635	7,962	9,289	10,616	11,943
0,68	1,339	2,678	4,017	5,356	6,695	8,034	9,373	10,712	12,051
0,70	1,353	2,706	4,059	5,412	6,765	8,118	9,471	10,824	12,177
0,72	1,364	2,728	4,092	5,456	6,820	8,184	9,548	10,912	12,276
0,74	1,378	2,756	4,134	5,512	6,890	8,268	9,646	11,024	12,402
0,76	1,390	2,780	4,170	5,560	6,950	8,340	9,730	11,120	12,510
0,78	1,404	2,808	4,212	5,616	7,020	8,424	9,828	11,232	12,636
0,80	1,416	2,832	4,248	5,664	7,080	8,496	9,912	11,328	12,744
0,82	1,430	2,860	4,290	5,720	7,150	8,580	10,010	11,440	12,870
0,84	1,445	2,890	4,335	5,780	7,225	8,670	10,115	11,560	13,005
0,86	1,459	2,918	4,377	5,836	7,295	8,754	10,213	11,672	13,131
0,88	1,474	2,948	4,422	5,896	7,370	8,844	10,318	11,792	13,266
0,90	1,488	2,976	4,464	5,952	7,440	8,928	10,416	11,904	13,392
0,92	1,501	3,002	4,503	6,004	7,505	9,006	10,507	12,008	13,509
0,94	1,518	3,036	4,554	6,072	7,590	9,108	10,626	12,144	13,662
0,96	1,533	3,066	4,599	6,132	7,665	9,198	10,731	12,264	13,797
0,98	1,548	3,096	4,644	6,192	7,740	9,288	10,836	12,384	13,932
1,00	1,563	3,126	4,689	6,252	7,815	9,378	10,941	12,504	14,067

Типъ № 12.

(Предохранительныя стѣнки).

Въ смыслѣ выраженія приращенія объемовъ, настоящій типъ является наиболѣе сложнымъ, ибо размѣръ стѣнки по верху зависитъ не только отъ высоты стѣнки H′ и высоты откоса h′, но также отъ глубины заложенія (h) фундамента; указанная зависимость опредѣляется нижеприведенными таблицами № 4 и № 5.

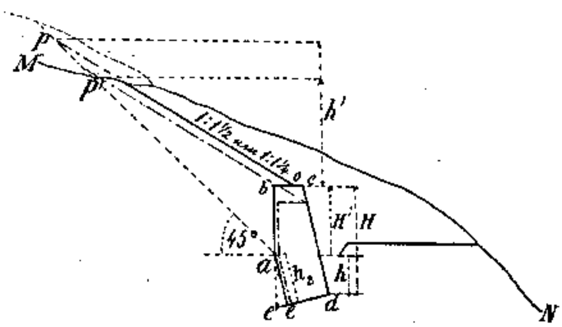
Выше, при описаніи настоящаго типа, говорилось уже, что въ зависимости отъ глубины (h) фундамента размѣръ стѣнки увеличивается на (p) процентовъ, т. е., берется

$$d\,(1+p);$$

поэтому площадь сѣченія стѣнки выразится слѣдующимъ образомъ:

$$\omega = [d\,(1+p)+0{,}10\,H]\,H+\frac{[d(1+p)+0{,}20\,H]^2}{10}-\frac{(h_2)^2}{10}\quad\ldots\ldots(89),$$

гдѣ H есть полная высота (H′+h), (фиг. 21).



Фиг. 21.

Съ повышеніемъ проектной линіи на величину (x) высота стѣнки понизится на (x+Δx), т. е.:

$$x+\Delta x=\frac{x}{h}=\frac{x}{(1-{}^1/_5\,\mathrm{tg}\,\alpha)}\quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(90).$$

Нужно замѣтить, что величина h′ (высота откоса надъ стѣнкой) опредѣляется такъ, какъ изложено выше при описаніи типа; при этомъ высшей точкой откоса можетъ оказаться либо (p), либо (p′), смотря по тому встрѣчаетъ ли прямая (ap) ранѣе откосъ (op) или—линію земли MN.

Сообразно съ этимъ необходимо различать уголъ пересѣченія означенныхъ линій, который и принимается за величину (α) въ выраженіи (90).

Что касается величинъ (h′), (h_2) и (h), то можно положить, что съ перемѣщеніемъ проектной линіи онѣ останутся безъ измѣненія.

Чтобы возможно болѣе упростить выраженіе площади (ω_x) въ функціи отъ (x), не нарушая при этомъ замѣтно точность результата, обратимся къ слѣдующимъ положеніямъ:

1) допустимъ, что величина (d) въ предѣлахъ нашего расчета измѣняется по закону прямой; въ такомъ случаѣ, если обозначимъ приращеніе толщины стѣнки (при

измѣненіи высоты ея на единицу)—черезъ (η), то съ повышеніемъ проектной линіи на (x), или,—что то же—съ пониженіемъ стѣнки на $\frac{x}{n}$, толщина ея будетъ равна

$$d'_x = d - \eta \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (91)$$

2) величина (p) измѣняется вообще настолько незначительно, что можетъ быть принята въ предѣлахъ расчета постоянной;

въ силу этихъ положеній окончательное значеніе толщины стѣнки будетъ равно:

$$d_x = \left[d - \eta \cdot \left(\frac{x}{n}\right)\right](1+p) \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (92).$$

Величина (η) берется непосредственно изъ таблицы № 4; напр., если начальная высота стѣнки равна $H = 3$ саж. и соотвѣтствующій размѣръ $d = 0{,}58$ с. (см. таблицу 4,—высота откоса $h' = 0{,}50$), то величина (η) найдется, какъ разность:

$$\eta = 0{,}58 - 0{,}45,$$

гдѣ послѣдняя цифра, т. е., 0,45 соотвѣтствуетъ высотѣ стѣнки $H = 2{,}00$ саж.; или

$$\eta = 0{,}73 - 0{,}58 = 0{,}15$$

если взять измѣненіе въ противоположную сторону, гдѣ 0,73 соотвѣтствуетъ $H = 4$ саж.; наконецъ, можно выбрать

$$\eta = \frac{0{,}73 - 0{,}45}{2} = 0{,}14 \text{ и т. д.}$$

На основаніи выраженій (89) и (92) можно уже написать искомое выраженіе для (ω_x), а именно:

$$\omega_x = \left[\left(d - \eta \cdot \frac{x}{n}\right)(1+p) + 0{,}10\left(H - \frac{x}{n}\right)\right]\left(H - \frac{x}{n}\right) + \\ + \frac{\left[\left(d - \eta \cdot \frac{x}{n}\right) + 0{,}20\left(H - \frac{x}{n}\right)\right]^2}{10} - \frac{(h_2)^2}{10} \quad \ldots \ldots \quad (93').$$

Сдѣлавъ различныя преобразованія и возможныя упрощенія получимъ:

$$\omega_x = \omega - \{[d(1+p) + 0{,}10\,H] + [\eta \cdot (1+p) + 0{,}10]\,H + 0{,}20\,[d(1+p) + \\ + 0{,}20\,H] \cdot [\eta \cdot (1+p) + 0{,}20]\}\,\frac{x}{n} + [\eta \cdot (1+p) + 0{,}10]\,\frac{x^2}{n^2}, \quad \ldots \quad (93),$$

а слѣдовательно,

$$\Delta\omega_x = -\frac{1}{n}\{[d(1+p) + 0{,}10\,H] + [\eta \cdot (1+p) + 0{,}10]\,H + 0{,}20\,[d(1+p) + \\ + 0{,}20\,H] \cdot [\eta \cdot (1+p) + 0{,}20]\}\,x + \frac{1}{n^2}[\eta \cdot (1+p) + 0{,}10]\,x^2 \quad \ldots \quad (94)$$

или сдѣлавъ обозначеніе:

$$d(1+p) + 0{,}20\,H = a$$
$$\text{и } \eta \cdot (1+p) + 0{,}20 \quad = b,$$

напишемъ выраженіе (94) въ сокращенномъ видѣ:

$$\Delta\omega_x = -\frac{1}{n}\{(a - 0{,}10\,H) + (b - 0{,}10)\,H + 0{,}20\,ab\}\,x + \frac{1}{n^2}(b - 0{,}10)\,x \quad \ldots \quad (94 \text{ bis}).$$

Вычисленіе производится съ помощью данныхъ выше таблицъ E и F.

Къ типу № 12.

Таблица № 4 *).

размѣровъ (d) предохранительныхъ изъ кладки на растворѣ (въ выемкахъ) стѣнъ по̀ верху въ саженяхъ.

Высота стѣнки H	Высота откоса выемки надъ стѣнкой (h'):									
	0,50	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	12,50
0,50	0,30	0,30	—	—	—	—	—	—	—	—
0,75	0,30	0,30	—	—	—	—	—	—	—	—
1,00	0,30	0,30	—	—	—	—	—	—	—	—
1,25	0,33	0,35	0,35	0,35	0,38	—	—	—	—	—
1,50	0,35	0,38	0,40	0,40	0,40	0,40	0,43	0,45	—	—
1,75	0,40	0,40	0,43	0,45	0,45	0,45	0,48	0,50	0,50	0,50
2,00	0,45	0,45	0,48	0,48	0,50	0,50	0,53	0,53	0,55	0,58
2,25	0,48	0,50	0,50	0,53	0,55	0,55	0,58	0,58	0,60	0,63
2,50	0,50	0,53	0,55	0,58	0,58	0,60	0,60	0,63	0,65	0,68
3,00	0,58	0,60	0,63	0,65	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75	0,78
3,50	0,65	0,68	0,70	0,70	0,75	0,78	0,80	0,83	0,85	0,88
4,00	0,73	0,75	0,80	0,83	0,85	0,88	0,90	0,93	0,95	1,00
4,50	0,83	0,85	0,88	0,93	0,93	0,95	1,00	1,03	1,05	1,10
5,00	0,90	0,93	0,98	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13	1,18	1,23
5,50	1,00	1,05	1,08	1,13	1,15	1,18	1,23	1,25	1 30	1,35
6,00	1,10	1,15	1,18	1,23	1,25	1,30	1,33	1,38	1,40	1,48
6,50	1,18	1,23	1,28	1,33	1,35	1,40	1,45	1,48	1,53	1,60
7,00	1,28	1,33	1,38	1,43	1.48	1,50	1,55	1,60	1,65	1,73
7,50	1,38	1,43	1,48	1,53	1,58	1,63	1,65	1,70	1,75	1,80
8,00	1,45	1,53	1,58	1.63	1,68	1.73	1,78	1,83	1,88	1,98
8,50	1,55	1,60	1,68	1,73	1,78	1,83	1,88	1,93	2,00	2,10
9,00	1,65	1,70	1,78	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05	2,10	2,23
9,50	1,73	1,80	1,88	1,95	2,00	2,05	2,10	2,15	2,23	2,35
10,00	1,83	1,90	1,98	2,05	2,10	2,15	2,23	2,28	2,35	2.48

*) Изъ таблицъ Уфа-Златоустовской ж. д.

Къ типу № 12.

Таблица № 5 *)

для опредѣленія утолщенія стѣнокъ въ процентахъ изъ кладки на растворѣ по формулѣ d = d (1 + p) въ зависимости отъ (H′) и (h).

Высота стѣнки H′.	Глубина фундамента (h).									
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	1,50	5.00
0,50	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
0,75	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18
1,00	16	18	18	18	18	18	18	18	18	18
1,25	16	17	18	18	18	18	18	18	18	18
1,50	15	17	18	18	18	18	18	18	18	18
1,75	14	17	18	18	18	18	18	18	18	18
2,00	14	17	17	18	18	18	18	18	18	18
2,25	13	16	17	18	18	18	18	18	18	18
2,50	12	16	17	17	18	18	18	18	18	18
3,00	11	15	17	17	17	18	18	18	18	18
3,50	11	14	16	17	17	18	18	18	18	18
4,00	10	14	16	17	17	17	18	18	18	18
4,50	9	13	15	16	17	17	17	18	18	18
5,00	9	12	14	16	17	17	17	17	18	18
5,50	9	12	14	15	16	17	17	17	18	18
6,00	8	11	14	15	16	17	17	17	17	18
6,50	8	11	13	15	16	16	17	17	17	17
7,00	7	10	12	14	15	16	16	17	17	17
7,50	7	10	12	14	15	16	16	16	17	17
8,00	7	10	12	14	15	16	16	16	17	17
8,50	7	10	12	13	14	15	16	16	17	17
9,00	6	9	11	13	14	15	16	16	17	17
9,50	6	9	11	12	14	15	16	16	17	17
10,00	6	9	11	12	14	15	15	16	16	17

Типъ № 13.

(Одѣвающія стѣнки).

Размѣры стѣнки опредѣляются слѣдующей табличкой № 6:

Площадь поперечнаго сѣченія стѣнки соотвѣтственно высотѣ ея опредѣлится однимъ изъ слѣдующихъ выраженій:

Таблица № 6

размѣровъ одѣвающихъ стѣнъ.

Высота стѣны H.	Толщина стѣнки	
	по верху d_1	по низу d_2
До 1,00	0,20	0,20
До 3,00	0,30	0,30
> 3 саж.	0,35	$0,35+\frac{H}{5}$

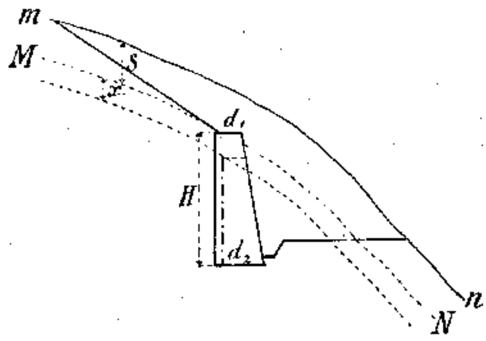
*) Изъ таблицъ Уфа-Златоустовской ж. д.

1) $\omega = 0{,}20\ H$; . . . . (95)

2) $\omega = 0{,}30\ H$ . . . . (96)

и 3) $\omega = (0{,}35 + 0{,}10\ H)\ H$ . . . . (97).

Если поверхъ одѣваемаго стѣнкой слоя имѣется слой растительной земли толщиною (s) (фиг. 22), то съ повышеніемъ проектной линіи (а значитъ — пониженіемъ выемки) на величину ($x \leqq s$) высота стѣнки останется безъ измѣненія; въ противномъ случаѣ, смотря въ какихъ предѣлахъ H окажется новая высота H_x, — должно быть примѣнено соотвѣтственное выраженіе приращенія, т. е.:



Фиг. 22.

1) $\omega_x = 0{,}20\ (H - x) = \omega - 0{,}20\ x$ . . . . (95_x)

2) $\omega_x = 0{,}30\ (H - x) = \omega - 0{,}30\ x$ . . . . (96_x)

3) $\omega_x = 0{,}35\ (H - x) + 0{,}10\,(H - x)^2 = \omega - (0{,}35 + 0{,}20\,H)\,x + 0{,}10\,x^2$ . . . . . . (97_x).

Объемы могутъ написаться точно въ слѣдующемъ видѣ:

1) $V_x = V - 0{,}20\ L.x$ . . . . (98)

2) $V_x = V - 0{,}30\ L.x$ . . . . (99)

и 3) $V_x = V - [0{,}35 + 0{,}10\ (H_1 + H_2)]\ L.x + 0{,}10\ L.x^2$ . . . . . (100).

Примѣчаніе. Въ силу различія формулъ приращенія площадей (и объемовъ) можетъ оказаться, что значеніе искомаго (x) выходитъ изъ предѣловъ взятой формулы, поэтому слѣдуетъ имѣть въ виду правила для введенія поправокъ, изложенныя въ концѣ настоящаго отдѣла искусственныхъ сооруженій.

2. Мосты.

Предварительный подсчетъ объема кладки двухъ устоевъ мостовъ отверстіемъ до 30 саж. производится обыкновенно или по спеціальнымъ таблицамъ или по графику.

Ниже приведены таблицы объемовъ кладки двухъ устоевъ мостовъ съ фундаментами, принятыя Круго-Байкальской желѣзной дорогой, а также графики для мостовъ съ ѣздою по верху и по низу [1]).

Чтобы опредѣлить, какъ измѣняется кубатура кладки съ перемѣной положенія проектной линіи, удобнѣе всего выразить объемъ кладки въ функціи высоты насыпи (H) эмпирическими формулами.

Подобныя формулы даны здѣсь въ соотвѣтствіи съ данными:

1) графиковъ, выражающихъ объемы кладки 2-хъ устоевъ мостовъ при глубинѣ фундамента 1 саж.

и 2) — таблицъ объемовъ кладки 2-хъ устоевъ Круго-Байкальской ж. дороги, при глубинѣ фундамента въ 1 саж. для мостовъ отъ 1—6 саж. и глубинѣ 1,50 с. для всѣхъ остальныхъ мостовъ.

Примѣчаніе. Въ виду того, что для моста одного и того же отверстія примѣняются, смотря по высотѣ насыпи, 2 или 3 различныхъ типа устоевъ, — кубатура кладки такого моста не можетъ быть выражена **одной** формулой, а требуетъ особой формулы для каждаго типа; поэтому все изложенное въ концѣ настоящаго отдѣла остается въ силѣ и для случая мостовъ.

Эмпирическія формулы объемовъ двухъ устоевъ мостовъ при глубинѣ фундамента равной 1,00 (по даннымъ графиковъ).

А. Мосты съ ѣздою по верху.

1) Отверстіе ($L = 1,00$);

а) Высота насыпи $H = (0,50—2,50)$: $V_a = 1,94 + 3,50\ H + 3,25\ H^2$.

б) $H = (2,50—6,00)$: $V_б = -7,07 + 9,55\ H + 3,71\ H^2$.

---

[1]) Таблицы и графики взяты изъ Инструкціи инж. Ѳ. Докса.

2) L = 2,00.

а) H = (0,50—2,50): $V_а = 1,44 + 3,50\ H + 3,25\ H^2$.

б) H = (2,50—6,00): $V_б = -6,26 + 8,38\ H + 3,89\ H^2$.

---

3) L = 3,00.

а) H = (0,50—2,50): $V_а = 2,63 + 2,00\ H + 3,50\ H^2$.

б) H = (2,50—6,00): $V_б = -9,21 + 9,43\ H + 3,78\ H^2$.

---

4) L = 4,00.

а) H = (0,50—2,50): $V_а = 1,70 + 3,00\ H + 3,25\ H^2$.

б) H = (2,50—6,00): $V_б = -10,70 + 10,73\ H + 3,58\ H^2$.

---

5) L = 5,00.

а) H = (1,00—2,50): $V_а = 2,00 + 2,67\ H + 3,33\ H^2$.

б) H = (2,50—6,00): $V_б = -14,21 + 12,43\ H + 3,38\ H^2$.

---

6) L = 6,00.

а) H = (1,00—2,50): $V_а = -4,00 + 9,67\ H + 1\ 33\ H^2$.

б) H = (2,50—6,00): $V_б = -17,83 + 13,81\ H + 3,25\ H^2$.

---

7) L = 8,00.

а) H = (1,00—2,50): $V_а = -3,00 + 5,33\ H + 2,67\ H^2$.

б) H = (2,50—6,00): $V_б = -11,82 + 10,15\ H + 3,67\ H^2$.

---

8) L = 10,00.

H = (2,50—6,00): $V = -12,36 + 10,34\ H + 3,65\ H^2$.

---

9) L = 15,00.

H = (2,50—6,00): $V = -13,54 + 11,52\ H + 3,51\ H^2$.

---

10) L = 20,00.

H = (3,00—6,00): $V = -16,04 + 12,69\ H + 3,33\ H^2$.

B. Мосты съ ѣздою по̀ низу.

1) L = 10,00.

а) H = (1,00—2,50): $V_а = -2,01 + 13,28\ H + 1,73\ H^2$.

б) H = (2,50—6,00): $V_б = 9,62 + 3,30\ H + 4,98\ H^2$.

---

2) L = 15,00.

а) $H = (1{,}00—2{,}50)$: $V_{а} = 1{,}00 + 13{,}80\ H + 1{,}20\ H^2$.

б) $H = (2{,}50—6{,}00)$: $V_{б} = 4{,}29 + 5{,}93\ H + 4{,}78\ H^2$.

---

3) L = 20,00.

а) $H = (1{,}00—2{,}50)$: $V_{а} = 6{,}80 + 9{,}07\ H + 2{,}13\ H^2$.

б) $H = (2{,}50—6{,}00)$: $V_{б} = 0{,}10 + 7{,}70\ H + 4{,}60\ H^2$.

---

4) L = 25,00.

а) $H = (1{,}00—2{,}50)$: $V_{а} = 8{,}40 + 7{,}77\ H + 2{,}33\ H^2$.

б) $H = (2{,}50—6{,}00)$: $V_{б} = 4{,}56 + 5{,}55\ H + 4{,}89\ H^2$.

---

5) L = 30,00.

$H = (2{,}50—6{,}00)$: $V = 3{,}32 + 6{,}10\ H + 4{,}98\ H^2$.

---

6) L = 35,00.

$H = (2{,}50—6{,}00)$: $V = 4{,}27 + 7{,}39\ H + 4{,}76\ H^2$.

---

7) L = 40,00.

$H = (2{,}50—6{,}00)$: $V = —7{,}64 + 11{,}88\ H + 4{,}07\ H^2$.

Эмпирическія формулы объемовъ кладки двухъ устоевъ мостовъ и фундаментовъ.

(По даннымъ Круго-Байкальской ж. д.).

А. Мосты съ ѣздою пò верху.

1) L = (1,00—6,00).

а) $H = (0{,}50—2{,}40)$: $V_{а} = 5{,}78 + 2{,}76\ H + 3{,}77\ H^2$.

б) $H = (2{,}50—3{,}50)$: $V_{б} = 48{,}55 — 24{,}65\ H + 8{,}20\ H^2$.

в) $H = (3{,}60—5{,}50)$: $V_{в} = —22{,}70 + 19{,}80\ H + 1{,}63\ H^2$.

---

2) L = (8,00—10,00).

а) $H = (2{,}60—3{,}40)$: $V_{а} = 6{,}62 + 3{,}00\ H + 4{,}20\ H^2$.

б) $H = (3{,}50—6{,}00)$: $V_{б} = —26{,}20 + 22{,}85\ H + 1{,}62\ H^2$.

В. Мосты съ ѣздою пò низу.

1) L = (10,00—15,00).

а) $H = (2{,}00—3{,}40)$: $V_{а} = 13{,}25 + 7{,}30\ H + 4{,}00\ H^2$.

б) $H = (3{,}50—5{,}50)$: $V_{б} = —43{,}25 + 37{,}82\ H + 0{,}30\ H^2$.

---

2) $L = (20,00—25,00)$.

а) $H = (2,00—3,40)$: $V_a = 15,11 + 7,46\ H + 4,10\ H^2$.

б) $H = (3,50—5,50)$: $V_б = -14,92 + 26,57\ H + 1,60\ H^2$.

---

3) $L = 30,00$).

а) $H = (2,00—3,40)$: $V_a = 18,81 + 8,18\ H + 4,24\ H^2$.

б) $H = (3,50—5,50)$: $V_б = -23,65 + 33,54\ H + 0,95\ H^2$.

Какъ видимъ, объемъ кладки вообще можетъ быть выраженъ формулой:

$$V = a + bH + cH^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (101).$$

Съ повышеніемъ проектной линіи на величину (x) объемъ, очевидно, увеличится, принимая значеніе:

$$V_x = a + b(H + x) + c(H + x)^2,$$

или

$$V_x = V + (b + 2cH)\,x + cx^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (102)$$

а приращеніе объема будетъ, слѣдовательно:

$$\triangle V_x = (b + 2cH)\,x + cx^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (103).$$

Таблица объемовъ кладки устоевъ и фундаментовъ *) мостовъ съ ѣздою по верху. (Круго-Байкальская ж. д.).

Высота насыпи H.	Мосты съ ѣздою по верху.					
	Отв. L = 1,00—6,00 саж.			Отв. L = 8,00—10,00 саж.		
	Фундам.	Стѣны.	Объемъ V.	Фундам.	Стѣны.	Объемъ V.
0,50	6,40	2,10	8,50	—	—	—
0,55	6,40	2,30	8,70	—	—	—
0,60	6,40	2,40	8,80	—	—	—
0,65	6,40	2,60	9,00	—	—	—
0,70	6,50	2,80	9,30	—	—	—
0,80	6,80	3,30	10,10	—	—	—
0,90	7,10	3,90	11,00	—	—	—
1,00	8,00	4,60	12,60	—	—	—
1,10	8,50	5,60	14,10	—	—	—
1,20	8,70	6,30	15,00	—	—	—
1,30	9,00	7,00	16,00	—	—	—
1,40	9,30	7,80	17,10	—	—	—

---

*) Объемы фундаментовъ для мостовъ (L = 1,00—6,00) исчислены при глубинѣ заложенія въ 1,00 саж.; для всѣхъ остальныхъ мостовъ—при глубинѣ въ 1,50 саж.

1,40	9,30	7,80	17,10	—	—	—
1,50	9,60	8,60	18,20	—	—	—
1,60	10,20	10,00	20,20	—	—	—
1,70	10,70	10,90	21,60	—	—	—
1,80	11,10	11,90	23,00	—	—	—
1,90	11,60	13,00	24,60	—	—	—
2,00	12,00	14,10	26,10	—	—	—
2,10	12,50	15,90	28,40	—	—	—
2,20	13,00	17,20	30,20	—	—	—
2,30	13,40	18,60	32,00	—	—	—
2,40	13,90	20,00	33,90	—	—	—
2,50	16,00	22,40	38,40	21,20	21,00	42,20
2,60	16,10	22,70	38,80	21,50	21,30	42,80
2,70	16,50	24,50	41,00	22,20	23,10	45,30
2,80	17,00	26,40	43,40	22,90	25,00	47,90
2,90	17,50	28,40	45,90	23,60	27,00	50,60
3,00	17,90	30,50	48,40	24,30	29,10	53,40
3,10	18,40	32,60	51,00	25,10	31,20	56,30
3,20	18,90	34,90	53,80	25,80	33,50	59,30
3,30	19,40	37,20	56,60	26,50	35,80	62,30
3,40	19,90	39,60	59,50	27,20	38,20	65,40
3,50	20,30	42,10	62,40	28,20	45,90	74,10
3,60	20,60	49,60	70,20	28,90	48,20	77,10
3,70	20,90	52,00	72,90	29,50	50,50	80,00
3,80	21,20	54,40	75,60	30,20	52,90	83,10
3,90	21,50	56,90	78,40	30,90	55,50	86,40
4,00	21,80	59,60	81,40	31,50	58,10	89,60
4,10	22,10	62,30	84,40	32,20	60,90	93,10
4,20	22,40	65,10	87,50	33,00	63,70	96,70
4,30	22,70	68,10	90,80	33,70	66,60	100,30
4,40	23,00	71,10	94,10	34,40	69,60	104,00
4,50	23,40	74,10	97,50	35,10	72,70	107,80
4,60	23,90	77,30	101,20	35,80	75,90	111,70
4,70	24,40	80,60	105,00	36,60	79,10	115,70
4,80	24,80	83,90	108,70	37,30	82,50	119,80
4,90	25,30	87,40	112,70	38,00	85,90	123,90
5,00	25,80	91,40	117,20	38,70	90,00	128,70
5,10	26,30	95,00	121,30	39,40	93,60	133,00
5,20	26,80	98,60	125,40	40,20	97,20	137,40
5,30	27,20	102,30	129,50	40,90	100,90	141,80
5,40	27,70	106,10	133,80	41,60	104,60	146,20
5,50	28,20	110,20	138,40	42,30	109,00	151,30
5,60	—	—	—	42,70	110,90	153,60
5,70	—	—	—	43,50	114,80	158,30
5,80	—	—	—	44,20	118,70	162,90
5,90	—	—	—	44,80	122,80	167,60
6,00	—	—	—	45,60	126,90	172,50

Таблица объемовъ кладки устоевъ мостовъ съ фундаментами при ѣздѣ по низу. (Круго-Байкальская ж. д.).

Высота насыпи H	Мосты съ ѣздою по-низу.								
	Отв. L = (10—15) саж.			Отв. L = (20—25) саж.			Отв. L = 30 саж.		
	Фун-дам.	Стѣны.	Объемъ V.	Фун-дам.	Стѣны.	Объемъ V.	Фун-дам.	Стѣны.	Объемъ V.
1,50	18,90	13,70	32,60	20,30	14,40	34,70	23,00	16,50	39,50
1,60	19,80	15,50	35,30	21,20	15,80	37,00	23,90	18,60	42,50
1.70	20,50	16,90	37,40	21,90	17,80	39,70	24,50	20,20	44,70
1,80	21,10	18,20	39,30	22,60	19,20	41,80	25,20	21,90	47,10
1,90	21,80	19,70	41,50	23,20	20,80	44,00	25,90	23,60	49,50
2,00	22,50	21,20	43,70	23,90	22,40	46,30	26,60	25,40	52,00
2,10	23,20	23,40	46,60	24,60	24,60	49,20	27,30	27,80	55,10
2,20	23,90	25,10	49,00	25,30	26,40	51,70	27,90	29,70	57,60
2,30	24,50	26,80	51,30	26,00	28,20	54,20	28,60	31,70	60,30
2,40	25,20	28,60	53,80	26,60	30,10	56,70	29,30	33,80	63,10
2,50	28,00	30,30	58,30	29,20	31,80	61,00	31,80	35,60	67,40
2,60	28,20	30,90	59,10	29,40	32,60	62,00	32,00	36,50	68,50
2,70	28,90	33,10	62,00	30,20	34,80	65,00	32,70	38,90	71,60
2,80	29,60	35,30	64,90	30,90	37,10	68,00	33,40	41,30	74,70
2,90	30,30	37,60	67,90	31,60	39,50	71,10	34,20	43,90	78,10
3,00	31,00	40,00	71,00	32,30	42,00	74,30	34,90	46,60	81,50
3,10	31,80	42,50	74,30	33,00	44,60	77,60	35,60	49,30	84,90
3,20	32,50	45,10	77,60	33,80	47,20	81,00	36,30	52,10	88,40
3,30	33,20	47,80	81,00	34,50	50,00	84,50	37,00	55,00	92,00
3,40	33,90	50,50	84,40	35,20	52,80	88,00	37,80	58,00	95,80
3,50	35,10	60,60	95,70	36,40	63,00	99,40	38,90	68,30	107,20
3,60	35,80	62,60	98,40	37,10	65,00	102,10	39,60	70,50	110,10
3,70	36,40	64,70	101,10	37,70	67,30	105,00	40,30	73,00	113,30
3,80	37,10	67,20	104,30	38,40	69,80	108,20	40,90	75,60	116,50
3,90	37,80	69,90	107,70	39,00	72,60	111,60	41,60	78,60	120,20
4,00	38,40	72,90	111,30	39,70	75,60	115,30	42,20	81,80	124,00
4,10	39,10	75,90	115,00	40,40	78,70	119,10	42,90	85,00	127,90
4,20	39,80	79,00	118,80	41,10	81,90	123,00	43,70	88,40	132,10
4,30	40,50	82,20	122,70	41,80	85,20	127,00	44,40	91,90	136,30
4,40	41,20	85,50	126,70	42,60	88,60	131,20	45,10	95,40	140,50
4,50	42,00	88,90	130,90	43,30	92,10	135,40	45,80	99,10	144,90
4,60	42,80	92,40	135,20	44,00	95,60	139,60	46,50	102,80	149,30
4,70	43,50	96,00	139,50	44,80	99,30	144,10	47,30	106,60	153,90
4,80	44,20	99,60	143,80	45,50	103,10	148,60	48,00	110,50	158,50
4,90	44,90	103,30	148,20	46,20	106,80	153,00	48,80	114,40	163,20
5,00	45,60	107,60	153,20	46,90	111,20	158,10	49,50	119,00	168,50
5,10	46,30	111,60	157,90	47,60	115,20	162,80	50,20	123,10	173,30
5,20	47,10	115,60	162,70	48,40	119,30	167,70	50,90	127,40	178,30
5,30	47,80	119,70	167,50	49,10	123,50	172,60	51,60	131,70	183,30
5,40	48,50	123,80	172,30	49,80	127,60	177,40	52,40	136,10	188,50
5,50	49,30	128,40	177,40	50,60	131,90	182,50	53,10	140,60	193,70

Подсчетъ кладки мостовъ отверстіемъ болѣе 30,00 саж. производится обыкновенно по спеціально составляемымъ эскизамъ; впрочимъ объемъ кладки мостовъ отверстіемъ 35 и 40 саж. можетъ быть приближенно взятъ изъ графика, при чемъ въ случаѣ большей глубины заложенія фундамента, въ цифру объема вводится поправка, взятая или по графику (№ 2), если глубина не превышаетъ 2-хъ саж., или изъ спеціальныхъ вычисленій.

Замѣчаніе о поправкахъ къ фундаменту относится ко всѣмъ отверстіямъ мостовъ вообще. Если подсчетъ производится по таблицамъ, а не по графику, то данныя тамъ количества кладки фундамента съ увеличеніемъ глубины заложенія пропорціонально увеличиваются.

Вычеты земляныхъ работъ у мостовъ.

При сопоставленіи точныхъ выраженій объемовъ земляныхъ работъ въ функціи (x) необходимо выключать части полотна, занятыя мостами. Если эти послѣдніе незначительны, то сумма соотвѣтствующихъ имъ объемовъ вычитается изъ общей кабатуры; при этомъ вліяніе измѣненія положенія проектной линіи можетъ быть (безъ особой погрѣшности) не принимаемо во вниманіе. Если же отверстіе моста болѣе или менѣе значительно, то заранѣе выключается соотвѣтствующая ему длина.

Въ этомъ случаѣ при составленіи общихъ выраженій объема насыпи для смежныхъ съ мостомъ частей ея можно считать крайними отмѣтками—нуль у лица устоевъ, а крайними разстояніями—отмѣтки у лица устоевъ, н. п. H_1 и H_2; допуская же нѣкоторую погрѣшность можно принимать для простоты величины H_1 и H_2 за крайнія отмѣтки частей насыпи.

3. Трубы.

При выборѣ трубы, соотвѣтствующей данному расходу, можно руководствоваться приведенной здѣсь таблицей № 7; при этомъ, такъ какъ одному и тому же расходу могутъ удовлетворять различныя трубы, то выбирается та изъ нихъ, которая требуетъ наименьшаго количества кладки.

Если по какимъ-либо соображеніямъ задаются трубой опредѣленнаго отверстія, то обращаются къ таблицѣ № 8.

Количество кладки опредѣляется или по графику *), который не включаетъ, впрочемъ, объемовъ входовъ и выходовъ, или по прилагаемой таблицѣ № 9 **), вычисленной, какъ и означенные графики, по даннымъ ниже формуламъ.

[1]) и [2]) См. «Справочную книгу» инж. Н. Ефимовича или «Желѣзно-дорожныя изысканія» Г. Краевскаго.

Таблица № 7.

для подбора отверстій трубъ по данному расходу источника *).

Расходъ (въ кб. с.)	Отверстія.	Скорость по дну.	Средняя скорость въ трубѣ.	Высота подпорн. горизонта.	Кирпичн. трубы.		Каменн. трубы.	
					Высота стѣнъ.	Minimum высоты насыпи.	Высота стѣнъ.	Minimum высоты насыпи.
Q	b	V_n	U	y_1	H	h	H	h
0,021	0,50	0,466	0,60	0,117	0,50	1,51	0,50	1,51
0,034	»	0,555	0,70	0,160	0,50	»	0,50	»
0,051	»	0,644	0,80	0,209	0,50	»	0,50	»
0,067	»	0,714	0,88	0,252	0,50	»	0,50	»
0,072	»	0,733	0,90	0,264	0,50	»	0,50	»
0,099	»	0,832	1,00	0,326	0,50	»	0,50	»
0,131	»	0,931	1,10	0,394	0,55	1,56	0,55	1,56
0,158	»	1,000	1,17	0,446	0,60	1,61	0,60	1,61
0,171	»	1,027	1,20	0,469	0,62	1,63	0,62	1,63
0,217	»	1,121	1,30	0,551	0,70	1,71	0,70	1,71
0,271	»	1,215	1,40	0,639	0,79	1,80	0,79	1,80
0,333	»	1,309	1,50	0,734	0,89	1,90	0,89	1,90
0,404	»	1,403	1,60	0,835	0,99	2,00	0,99	2,00
0,427	»	1,430	1,63	0,876	1,03	2,04	1,03	2,04
0,485	»	1,498	1,70	0,942	1,10	2,11	1,10	2,11
0,576	»	1,592	1,80	1,056	1,21	2,22	1,21	2,22
0,677	»	1,687	1,90	1,177	1,33	2,34	1,33	2,34
0,790	»	1,782	2,00	1,304	1,46	2,47	1,46	2,47
0,914	»	1,877	2,10	1,438	1,59	2,60	1,59	2,60
1,054	»	1,972	2,20	1,578	1,73	2,74	1,73	2,74
1,095	»	2,000	2,23	1,621	1,77	2,78	1,77	2,78
1,095	0,75	1,734	1,95	1,240	1,34	2,48	1,27	2,41
1,200	»	1,791	2,01	1,317	1,42	2,56	1,35	2,49
1,300	»	1,839	2,06	1,383	1,49	2,63	1,41	2,55
1,400	»	1,886	2,11	1,451	1,55	2,69	1,48	2,62
1,500	»	1,934	2,16	1,521	1,62	2,76	1,58	2,72

*) Значенія величины h вычислены въ предположеніи, что толщина свода въ ключѣ (c) величина постоянная, равная приблизительно 0,30 саж.; поэтому отыскивая (h) для трубъ отверстіемъ 2 и болѣе саженъ необходимо въ цѣляхъ большей точности принимать въ запасъ еще около (0,15—0,20) саж.

Расходъ въ кб. с. Q	Отверстія. b	Скорость по дну. V_n	Средняя скорость въ трубѣ. U	Высота подпорн. горизонта. y_1	Кирпичн. трубы. Высота стѣнъ. H	Кирпичн. трубы. Minimum высоты насыпи. h	Каменн. трубы. Высота стѣнъ. H	Каменн. трубы. Minimum высоты насыпи. h
1,600	»	1,981	2,21	1,592	1,70	2,84	1,62	2,76
1,642	»	2,000	2,23	1,621	1,72	2,86	1,65	2,79
1,642	1,00	1,808	2,03	1,343	1,45	2,71	1,35	2,61
1,700	»	1,829	2,05	1,370	1,47	2,73	1,37	2,63
1,800	»	1,868	2,09	1,424	1,53	2,79	1,43	2,69
1,900	»	1,905	2,13	1,479	1,58	2,84	1,48	2,74
2,000	»	1,934	2,16	1,521	1,62	2,88	1,52	2,78
2,189	»	2,000	2,23	1,621	1,73	2,99	1,63	2,89
2,189	1,25	1,849	2,07	1,397	1,50	2,89	1,40	2,79
2,300	»	1,877	2,10	1,438	1,54	2,93	1,44	2,83
2,400	»	1,905	2,13	1,479	1,58	2,97	1,48	2,87
2,500	»	1,934	2,16	1,521	1,62	3,01	1,52	2,91
2,600	»	1,963	2,19	1,563	1,67	3,06	1,57	2,96
2,700	»	1,990	2 22	1,607	1,71	3,10	1,61	3,00
2,736	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,11	1,62	3,01
2,736	1,50	1,877	2,10	1,438	1,54	3,05	1,44	2,95
2,800	»	1,886	2,11	1,451	1,55	3,06	1,45	2,96
2,900	»	1,915	2,14	1,493	1,60	3,11	1,50	3,01
3,000	»	1,934	2,16	1,521	1,62	3,13	1,52	3,03
3,100	»	1,963	2,19	1,563	1,67	3,18	1,57	3,08
3,200	»	1,981	2,21	1,592	1,70	3,21	1,60	3,11
3,284	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,23	1,62	3,13
3,284	1,75	1,896	2,12	1,465	1,57	3,21	1,47	3,11
3,400	»	1,915	2,14	1,493	1,60	3,24	1,50	3,14
3,500	»	1,934	2,16	1,521	1,62	3,26	1,52	3,16
3,600	»	1,953	2,18	1,549	1,65	3,29	1,55	3,19
3,700	»	1,972	2,20	1,578	1,68	3,32	1,58	3,22
3,831	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,36	1,62	3,26
3,831	2,00	1,905	2,13	1,479	1,58	3,34	1,48	3,24
3,900	»	1,924	2,15	1,507	1,61	3,37	1,51	3,27
4,000	»	1,934	2,16	1,521	1,62	3,38	1,52	3,28
4,100	»	1,953	2,18	1,549	1,65	3,41	1,55	3,31

Расходъ въ кб. с.	Отверстія.	Скорость по дну.	Средняя скорость въ трубѣ.	Высота подпорн. горизонта.	Кирпичн. трубы.		Каменн. трубы.	
					Высота стѣнъ.	Minimum высоты насыпи.	Высота стѣнъ.	Minimum высоты насыпи.
Q	b	V_n	U	y_1	H	h	H	h
4,200	»	1,972	2,20	1,578	1,68	3,44	1,58	3,34
4,300	»	1,990	2,22	1,607	1,71	3,47	1,61	3,37
4,378	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,48	1,62	3,38
4,378	2,25	1,915	2,14	1,493	1,60	3,49	1,50	3,39
4,400	»	1,924	2,15	1,507	1,61	3,50	1,51	3,40
4,500	»	1,934	2,16	1,521	1,62	3,51	1,52	3,41
4,600	»	1,953	2,18	1,549	1,65	3,54	1,55	3,44
4,700	»	1,972	2,20	1,578	1,68	3,57	1,58	3,47
4,800	»	1,981	2,21	1,592	1,70	3,59	1,60	3,49
4,900	»	1,999	2,23	1,621	1,72	3,61	1,62	3,51
4,925	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,61	1,62	3,51
4,925	2,50	1,924	2,15	1,507	1,61	3,62	1,51	3,52
5,000	»	1,934	2,16	1,521	1,62	3,63	1,52	3,53
5,100	»	1,953	2,18	1,549	1,65	3,66	1,55	3,56
5,200	»	1,963	2,19	1,563	1,67	3,68	1,57	3,58
5,300	»	1,981	2,21	1,592	1,70	3,71	1,60	3,61
5,400	»	1,990	2,22	1,607	1,71	3,72	1,61	3,62
5,473	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,73	1,62	3,63
5,473	2,75	1,934	2,16	1,521	1,62	3,76	1,52	3,66
5,500	»	1 934	2,16	1,521	1,62	3,76	1,52	3,66
5,600	»	1,953	2,18	1,549	1,65	3,79	1,55	3,69
5,700	»	1,963	2,19	1,563	1,67	3,81	1,57	3,71
5,800	»	1,972	2,20	1,578	1,68	3,82	1,58	3,72
5,900	»	1,981	2,21	1,592	1,70	3,84	1,60	3,74
6,000	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,86	1,62	3,76
6,020	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,86	1,62	3,76
6,020	3,00	1,943	2,17	1,535	1,64	3,90	1,54	3,80
6,100	»	1,953	2,18	1,549	1,65	3,91	1,55	3,81
6,200	»	1,963	2,19	1,563	1,67	3 93	1,57	3,83
6,300	»	1,972	2,20	1,578	1,68	3,94	1,58	3,84
6,400	»	1,981	2,21	1,592	1,70	3,96	1,60	3,86
6,500	»	1,990	2,22	1,607	1,71	3,97	1,61	3,87
6,567	»	2,000	2,23	1,621	1,72	3,98	1,62	3,88

Т а б л и

расходовъ въ трубахъ

Скорость по дну. $V_н$	Средняя скорость. U	Подпор. y_1	Предѣльн. высота стѣнъ. Кирпич.	Камен.	Отверстіе трубы (b): 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
0,401	0,50	0,082	0,50	0,50	0,006	0,012	0,018	0,025	0,031	0,037	0,043	0,049
0,430	0,54	0,095	»	»	0,008	0,016	0,023	0,031	0,039	0,047	0,054	0,062
0,466	0,60	0,117	»	»	0,011	0,021	0,032	0,043	0,053	0,064	0,075	0,085
0,555	0,70	0,160	»	»	0,017	0,034	0,051	0,068	0,085	0,102	0,118	0,135
0,644	0,80	9,209	»	»	0,025	0,051	0,076	0,102	0,127	0,153	0,178	0,203
0,714	0,88	0,252	»	»	0,034	0,067	0,101	0,135	0,168	0,202	0,235	0,269
0,733	0,90	0,264	»	»	0,036	0,072	0,108	0,144	0,180	0,216	0,252	0,288
0,832	1,00	0,326	»	»	0,049	0,099	0,148	0,197	0,247	0,296	0,345	0,395
0,931	1,10	0,394	»	»	0,066	0,131	0,197	0,263	0,328	0,394	0,460	0,525
1,000	1,17	0,446	0,55	0,50	0,079	0,158	0,237	0,316	0,395	0,474	0,553	0,632
1,027	1,20	0,469	0,57	0,50	0,085	0,171	0,256	0,341	0,426	0,512	0,597	0,682
1,121	1,30	0,551	0,65	0,55	0,108	0,217	0,325	0,434	0,542	0,651	0,759	0,867
1,215	1,40	0,639	0,74	0,64	0,135	0,271	0,406	0,542	0,677	0,812	0,948	1,083
1,304	1,50	0,734	0,84	0,74	0,167	0,333	0,500	0,666	0,833	0,999	1,166	1,332
1,403	1,60	0,835	0,94	0,84	0,202	0,404	0,606	0,809	1,011	1,213	1,415	1,617
1,430	1,63	0,876	0,98	0,88	0,214	0,427	0,641	0,855	1,069	1,282	1,496	1,710
1,498	1,70	0,942	1,05	0,95	0,242	0,485	0,727	0,970	1,212	1,450	1,647	1,940
1,592	1,80	1,056	1,16	1,06	0,288	0,576	0,863	1,151	1,439	1,727	2,015	2,302
1,687	1,90	1,177	1,28	1,18	0,338	0,677	1,015	1,354	1,692	2,031	2,369	2,707
1,782	2,00	1,304	1,41	1,31	0,395	0,790	1,184	1,579	1,974	2,369	2,764	3,158
1,877	2,10	1 438	1,54	1,44	0,457	0,914	1,371	1,828	2,285	2,742	3,199	3,656
1,972	2,20	1,578	1,68	1,58	0,525	1,051	1 576	2,112	2,627	3,153	3,678	4,204
2,000	2,23	1,621	1,72	1,62	0,547	1,095	1,642	2,189	2,736	3,284	3,831	4,378
2,070	2,30	1,725	1,83	1,73	0,604	1,209	1,813	2,402	3,006	3,611	4,215	4,804
2,169	2,40	1,878	1,98	1,88	0,682	1,364	2,046	2,729	3,411	4,093	4,775	5,458
2,268	2,50	2,038	2,14	2,04	0,771	1,542	2,313	3,084	3,851	4,626	5,397	6,169
2,367	2,60	2,204	2,31	2,21	0,867	1,735	2,602	3,469	4,337	5,234	6,101	6,939
2,466	2,70	2,377	2,48	2,38	0,971	1,942	2,913	3,885	4,857	5,828	6,799	7,771
2,565	2,80	2,556	2,66	2,56	1,084	2,167	3,251	4,334	5,418	6,502	7,586	8,668
2,665	2,90	2,742	2,85	2,75	1,204	2,407	3,611	4,814	6,018	7,222	8,426	9,624
2,765	3,00	2,934	3,04	2,94	1,332	2,665	3,997	5,330	6,662	7,994	9,326	10,659
2,859	3,10	3,133	3,24	3,14	1,470	2,940	4,410	5,881	7,351	8,821	10,291	11,761
2,860	3,11	3,153	3,26	3,16	1,484	2,969	4,454	5,938	7,422	8,907	10,391	11,876

*) Для трубъ отверстіемъ 0,25; 0,50 и 0,75 с. при назначеніи высоты стѣнъ принять во

ца № 8

$Q = 0{,}1974\ b\ U^3$ кб. саж.

Скорость по дну. V_n	Средняя скорость. U	Подпор. y_1	Предѣльная высота стѣнъ. Кирпич.	Предѣльная высота стѣнъ. Камен.	Отверстіе трубы (b): 2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
0,401	0,50	0,082	0,50	0,50	0,055	0,062	0,068	0,074	0,080	0,086	0,092	0,099
0,430	0,54	0,095	»	»	0,070	0,078	0,085	0,093	0,101	0,109	0,116	0,124
0,466	0,60	0,117	»	»	0,096	0,107	0,117	0,128	0,139	0,144	0,160	0,171
0,555	0,70	0,160	»	»	0,152	0,169	0,186	0,203	0,220	0,237	0,254	0,271
0,644	0,80	0,209	»	»	0,229	0,254	0,280	0,305	0,330	0,356	0,381	0,407
0,714	0,88	0,252	»	»	0,303	0,336	0,370	0,404	0,437	0,471	0,505	0,538
0,733	0,90	0,264	»	»	0,324	0,360	0,396	0,432	0,468	0,504	0,540	0,576
0,832	1,00	0,326	»	»	0,444	0,494	0,543	0,592	0,642	0,691	0,740	0,790
0,931	1,10	0,394	»	»	0,591	0,657	0,723	0,788	0,854	0,920	0,985	1,051
1,000	1,17	0,446	0,55	0,50	0,711	0,790	0,869	0,948	1,028	1,107	1,186	1,265
1,027	1,20	0,469	0,57	0,50	0,767	0,853	0,938	1,023	1,109	1,194	1,279	1,364
1,121	1,30	0,551	0,65	0,55	0,976	1,084	1,193	1,301	1,409	1,518	1,626	1,735
1,215	1,40	0,639	0,74	0,64	1,219	1,354	1,490	1,625	1,760	1,896	2,031	2,167
1,304	1,50	0,734	0,84	0,74	1,499	1,666	1,832	1,999	2,165	2,332	2,498	2,665
1,403	1,60	0,835	0,94	0,84	1,819	2,021	2,224	2,426	2,628	2,830	3,032	3,234
1,430	1,63	0,876	0,98	0,88	1,923	2,137	2,351	2,565	2,778	2,992	3,206	3,420
1,498	1,70	0,942	1,05	0,95	2,182	2,425	2,667	2,909	3,152	3,394	3,637	3,879
1,592	1,80	1,056	1,16	1,06	2,590	2,878	3,166	3,454	3,742	4,029	4,317	4,604
1,687	1,90	1,177	1,28	1,18	3,046	3,385	3,723	4,062	4,400	4,739	5,077	5,416
1,782	2,00	1,301	1,41	1,31	3,553	3,948	4,343	4,738	5,132	5,527	5,922	6,317
1,877	2,10	1,438	1,54	1,44	4,113	4,570	5,027	5,484	5,941	6,398	6,855	7,312
1,972	2,20	1,578	1,68	1,58	4,729	5,255	5,780	6,305	6,831	7,357	7,882	8,408
2,000	2,23	1,621	1,72	1,62	4,925	5,473	6,020	6,567	7,115	7,662	8,209	8,756
2,070	2,30	1,725	1,83	1,73	5,408	6,004	6,608	7,212	8,816	8,420	9,023	9,607
2,169	2,40	1,878	1,98	1,88	6,140	6,822	7,290	8,186	8,868	9,550	10,232	10,915
2,268	2,50	2,038	2,14	2,04	6,940	7,711	8,061	9,253	10,024	10,795	11,566	12,337
2,367	2,60	2,204	2,31	2,21	7,806	8,674	9,541	10,408	11,275	12,143	13,010	13,878
2,466	2,70	2,377	2,48	2,38	8,742	9,714	10,685	11,656	12,627	13,598	14,570	15,542
2,565	2,80	2,556	2,66	2,56	10,752	10,835	10,919	13,002	14,086	15,170	16,253	17,336
2,665	2,90	2,742	2,85	2,75	10,833	12,036	13,240	14,443	15,647	16,850	18,054	19,257
2,765	3,00	2,934	3,04	2,94	11,991	13,324	14,656	15,984	17,322	18,654	19,986	21,319
2,859	3,10	3,133	3,24	3,14	13,231	14,702	16,172	17,642	19,112	20,582	22,053	23,523
2,860	3,11	3,153	3,26	3,16	13,360	14,845	16,339	17,823	19,298	20,782	22,267	23,751

вниманіе, чтобы подпорн. горизонтъ (y_1) былъ ниже внутренней образующей ключа свода на 0,40 с.

Формулы, выражающія площади поперечнаго сѣченія трубы и суммы объемовъ входа

Отверстіе b	Площадь поперечнаго сѣченія трубы ω	Сумма объемовъ входа и выхода V_b
0,50	$2{,}040 + 1{,}210\ H + 0{,}166\ H^2.$	$0{,}350 + 2{,}920\ H + 1{,}420\ H^2.$
0,75	$2{,}708 + 1{,}390\ H + 0{,}166\ H^2.$	$0{,}730 + 4{,}180\ H + 1{,}640\ H^2.$
1,00	$2{,}831 + 1{,}440\ H + 0{,}200\ H^2.$	$1{,}27 + 5{,}44\ H + 1{,}86\ H^2.$
1,25	$3{,}621 + 1{,}684\ H + 0{,}190\ H^2.$	$1{,}97 + 6{,}70\ H + 2{,}08\ H^2.$
1,50	$4{,}488 + 1{,}909\ H + 0{,}172\ H^2.$	$2{,}83 + 7{,}96\ H + 2{,}30\ H^2.$
1,75	$5{,}188 + 1{,}893\ H + 0{,}163\ H^2.$	$3{,}85 + 9{,}22\ H + 2{,}42\ H^2.$

Т а б л и

площадей сѣченія трубъ (ω) и

Отверст. b / Высота стѣнки H	0,50 с.		0,75 с.		1,00 с.		1,25 с.		1,50 с.		1,75 с.	
	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.
0,50	2,687	2,165	3,445	3,230	3,601	4,455	4,511	5,840	5,486	7,385	6,175	9,065
0,55	2,756	2,381	3,523	3,521	3,683	4,820	4,604	6,279	5,591	7,898	6,278	9,647
0,60	2,826	2,613	3,602	3,828	3,767	5,204	4,700	6,739	5,696	8,434	6,382	10,253
0,65	2,891	2,844	3,682	4,136	3,851	5,587	4,795	7,199	5,802	8,970	6,487	10,859
0,70	2,968	3,090	3,762	4,460	3,937	5,989	4,893	7,679	5,909	9,529	6,593	11,490
0,75	3,040	3,335	3,844	4,783	4,023	6,392	4,990	8,160	6,017	10,088	6,699	12,120
0,80	3,114	3,595	3,927	5,124	4,111	6,812	5,090	8,661	6,126	10,670	6,807	12,775
0,85	3,189	3,854	4,010	5,464	4,199	7.233	5,189	9,163	6,236	11,252	6,914	13,429
0,90	3,264	4,128	4,094	5,820	4,289	7,673	5,291	9,685	6,346	11,857	7,024	14,108
0,95	3,339	4,402	4,178	6,177	4,379	8,112	5,392	10,207	6,458	12,462	7,133	14,787
1,00	3,416	4,690	4,264	6,550	4,471	8,570	5,495	10,750	6,570	13,090	7,244	15,490
1,05	3,494	4,978	4,350	6,923	4,563	9,028	5,598	11,293	6,682	13,718	7,355	16,193
1,10	3,572	5,280	4,438	7,312	4,657	9,505	5,703	11,857	6,796	14,369	7,468	16,920
1,15	3,651	5,582	4,526	7,702	4,751	9,981	5,808	12,421	6,911	15,020	7,580	17,647
1,20	3,731	5,899	4,615	8,108	4,847	10,476	5,915	13,005	7,027	15,694	7,694	18,399
1,25	3,812	6,215	4,705	8,513	4,943	10,972	6,022	13,590	7,143	16,368	7,809	19,150
1,30	3,894	6,546	4,796	8,936	5,041	11,485	6,131	14,195	7,261	17,065	7,924	19,926
1,35	3,976	6,876	4,887	9,358	5,139	11,999	6,240	14,801	7,379	17,762	8,040	20,701
1,40	4,059	7,221	4,979	9,796	5,239	12,532	6,351	15,427	7,498	18,482	8,158	21,501
1,45	4,144	7,566	5,073	10,235	5,339	13,064	6,462	16,053	7,618	19,202	8,275	22,301
1,50	4,229	7,925	5,167	10,690	5,441	13,615	6,575	16.700	7,739	19,945	8,394	23,125
1,55	4,314	8,284	5,261	11.145	5,546	14,166	6,687	17,347	7,861	20,688	8,513	23,949
1,60	4,401	8,657	5,357	11,616	5,647	14,736	6,802	18,015	7,983	21,454	8,634	24,797
1,65	4,489	9,030	5,454	12,088	5,751	15,305	6,916	18,683	8,107	22,220	8,755	25,645
1,70	4,577	9,418	5,551	12,576	5,857	15,893	7,033	19,371	8,231	23,009	8,877	26,518
1,75	4,666	9,805	5,649	13,063	5,963	16,482	7,149	20,060	8,356	23,798	9,000	27,390
1,80	4,756	10,207	5,748	3,568	6,071	17,088	7,268	20,769	8,482	24,610	9,124	28,287

и выхода для различныхъ отверстій (b) трубы—въ зависимости отъ высоты стѣнокъ (H):

Отверстіе b	Площадь поперечнаго сѣченія трубы ω	Сумма объемовъ входа и выхода V_b
2,00	$5{,}784 + 1{,}877\ H + 0{,}154\ H^2$.	$4{,}03 + 10{,}48\ H + 2{,}64\ H^2$.
2,25	$6{,}400 + 1{,}970\ H + 0{,}160\ H^2$.	$5{,}37 + 11{,}74\ H + 2{,}77\ H^2$
2,50	$7{,}017 + 2{,}060\ H + 0{,}166\ H^2$.	$6{,}87 + 12{,}00\ H + 2{,}90\ H^2$.
2,75	$9{,}415 + 2{,}294\ H + 0{,}170\ H^2$.	$8{,}53 + 14{,}26\ H + 3{,}02\ H^2$.
3,00	$10{,}667 + 2{,}507\ H + 0{,}170\ H^2$.	$10{,}35 + 15{,}52\ H + 3{,}14\ H^2$.

ца № 9

объема входа и выхода (V_b).

Отверст. b / Высота стѣнки H	2,00 с.		2,25 с.		2,50 с.		2,75 с.		3.00 с.	
	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.	ω кв. с.	V_b кб. с.
0,50	6,762	9,930	7,425	11,933	8,089	13,595	10,605	16,415	11,964	18,895
0,55	6,863	10,586	7,532	12,658	8,200	14,340	10,728	17,279	12,097	19,828
0,60	6,965	11,268	7,640	13,411	8,313	15,114	10,852	18,173	12,232	20,792
0,65	7,069	11,951	7,748	14,164	8,426	15,888	10,977	19,067	12,367	21,757
0,70	7,173	12,660	7,857	14,945	8,540	16,691	11,104	19,992	12,505	22,753
0,75	7,276	13,368	7,967	15,726	8,655	17,494	11,231	20,916	12,642	23,748
0,80	7,385	14,104	8,078	16,535	8,771	18,326	11,359	21,871	12,782	24,776
0,85	7,491	14,839	8,190	17,343	8,888	19,158	11,487	22,825	12,920	25,803
0,90	7,598	15,600	8,303	18,180	9,006	20,019	11,617	23,810	13,061	26,861
0,95	7,706	16,362	8,416	19,016	9,124	20,880	11,748	24,795	13,201	27,920
1,00	7,815	17,150	8,530	19,880	9,243	21,770	11,879	25,810	13,344	29,010
1,05	7,924	17,938	8,645	20,744	9,362	22,660	12,011	26,825	13,486	30,100
1,10	8,035	18,752	8,761	21,636	9,483	23,579	12,144	27,870	13,631	31,221
1,15	8,146	19,567	8,877	22,527	9,605	24,498	12,277	28,915	13,774	32,343
1,20	8,258	20,408	8,994	23,447	9,728	25,446	12,413	29,991	13,920	33,496
1,25	8,370	21,248	9,112	24,366	9,851	26,394	12,548	31,066	14,065	34,648
1,30	8,484	22,116	9,231	25,313	9,976	27,371	12,684	32,172	14,213	35,833
1,35	8,598	22,983	9,351	26,260	10,100	28,348	12,821	33,277	14,360	37,017
1,40	8,714	23,876	9,472	27,235	10,226	29,354	12,960	34,413	14,510	38,232
1,45	8,829	24,770	9,593	28,210	10,353	30,360	13,099	35,549	14,659	39,448
1,50	8,946	25,690	9,715	29,213	10,481	31,395	13,239	36,715	14,811	40,695
1,55	9,063	26,610	9,838	30,215	10,608	32,430	13,379	37,881	14,961	41,942
1,60	9,181	27,556	9,962	31,245	10,738	33,494	13,520	39,077	15,113	43,220
1,65	9,300	28,503	10,086	32,275	10,868	34,558	13,662	40,273	15,265	44,499
1,70	9,420	29,476	10,211	33,333	10,999	35,651	13,806	41,500	15,420	45,809
1,75	9,540	30,448	10,337	34,391	11,130	36,744	13,950	42,726	15,574	47,118
1,80	9,662	31,448	10,464	35,477	11,263	37,866	14,095	43,983	15,731	48,460

Таблица № 9а толщины сводовъ въ ключѣ изъ камня и кирпича по свѣдѣніямъ проф. Л. Ф. Николаи.

О Т В Е Р С Т І Е Т Р У Б Ъ.																				
0,50			0,75			1,00			1,50			2,00			2,50			3,00		
Высота насыпи.	Толщина свода.		Высота насыпи.	Толщина свода.		Высота насыпи.	Толщина свода.		Высота насыпи.	Толщина свода.		Высота насыпи.	Толщина свода.		Высота насыпи.	Толщина свода.		Высота насыпи.	Толщина свода.	
	Кам.	Кир.		Кам.	Кир.		Кам.	Кир.		Кам.	Кир.		Кам.	Кир.		Кам.	Кир.		Кам.	Кир.
2,00	0,22	2	2,28	0,23	2	2,50	0,24	2	3,33	0,26	2½	4,08	0,28	2½	4,33	0,30	2½	4,58	0,33	2½
2,25	0,22	2	2,53	0,23	2	2,75	0,24	2	3,58	0,26	2½	4,33	0,28	2½	4,58	0,30	2½	4,90	0,33	3
2,50	0,22	2	2,78	0,24	2	3,08	0,25	2½	3,83	0,27	2½	4,58	0,29	2½	4,90	0,31	3	5,15	0,34	3
2,75	0,22	2	3,03	0,24	2	3,33	0,25	2½	4,08	0,27	2½	4,83	0,30	2½	5,15	0,33	3	5,40	0,35	3
3,00	0,23	2	3,36	0,25	2½	3,58	0,26	2½	4,33	0,28	2½	5,08	0,31	2½	5,40	0,33	3	5,65	0,35	3
3,25	0,23	2	3,61	0,25	2½	3,83	0,26	2½	4,58	0,28	2½	5,33	0,31	2½	5,65	0,34	3	5,96	0,37	3½
3,58	0,23	2½	3,86	0,25	2½	4,08	0,26	2½	4,83	0,29	2½	5,65	0,32	3	5,90	0,35	3	6,21	0,38	3½
3,83	0,23	2½	4,11	0,25	2½	4,33	0,26	2½	5,15	0,29	3	5,90	0,32	3	6,21	0,35	3½	6,46	0,38	3½
4,08	0,23	2½	4,36	0,25	2½	4,58	0,26	2½	5,40	0,29	3	6,15	0,32	3	6,46	0,35	3½	6,71	0,38	3½
4,33	0,23	2½	4,61	0,25	2½	4,83	0,26	2½	5,65	0,29	3	6,40	0,32	3	6,71	0,35	3½	7,06	0,38	3½
4,58	0,24	2½	4,86	0,26	2½	5,08	0,27	2½	5,90	0,29	3	6,65	0,33	3	6,96	0,36	3½	7,31	0,38	3½
4,83	0,24	2½	5,11	0,26	2½	5,40	0,28	3	6,15	0,30	3	6,95	0,34	3½	7,21	0,37	3½	7,62	0,39	4
5,08	0,24	2½	5,36	0,26	2½	5,65	0,28	3	6,45	0,30	3½	7,20	0,34	3½	7,46	0,37	3½	7,87	0,40	4
5,33	0,24	2½	5,61	0,26	2½	5,90	0,28	3	6,70	0,30	3½	7,45	0,34	3½	7,71	0,37	3½	8,12	0,40	4
5 58	0,24	2½	5,86	0,26	2½	6,15	0,28	3	6,95	0,30	3½	7,70	0,34	3½	7,96	0,37	3½	8,37	0,40	4
5,83	0,25	2½	6,11	0,27	2½	6,40	0,29	3	7,20	0,31	3½	7,95	0,35	3½	8,21	0,38	3½	8,62	0,41	4
6,08	0,25	2½	6,36	0,27	2½	6,65	0,29	3	7,45	0,31	3½	8,26	0,35	4	8,52	0,38	4	8,87	0,41	4
6,40	0,25	3	6,68	0,27	3	6,90	0,29	3	7,70	0,32	3½	8,52	0,36	4	8,77	0,39	4	9,12	0,42	4
6,65	0,25	3	6,91	0,27	3	7,21	0,29	3½	8,01	0,32	4	8,77	0,36	4	9,02	0,39	4	9,37	0,42	4
6,90	0,25	3	7,18	0,27	3	7,46	0,29	3½	8,27	0,32	4	9,02	0,36	4	9,27	0,40	4	9,62	0,43	4
7,15	0,25	3	7,43	0,27	3	7,71	0,29	3½	8,52	0,32	4	9,27	0,36	4	9,52	0,40	4	9,87	0,44	4
7,40	0,25	3	7,68	0,27	3	7,96	0,29	3½	8,77	0,32	4	9,52	0,36	4	9,77	0,40	4	10,12	0,45	4

Таблица № 9а вычислена при слѣдующихъ соотношеніяхъ:

Отверстіе $b=$	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
Высота до пятъ свода $H=$	0,75	0,90	1,00	1,50	2,00	2,00	2,00

Выводъ выраженій длины трубы въ функціи отъ x при любомъ профилѣ полотна.

Съ помощью таблицы № 9 объемъ кладки трубы получается по формулѣ:

$$V = L\omega + V_b \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (104)$$

гдѣ L—длина трубы.

Соотвѣтственно очертанію нормальныхъ профилей насыпи (фиг. 1 и 4), при высотѣ послѣдней $h \leq 3$ саж., или $h > 3$ саж.,—длина трубы L опредѣлится выраженіями:

1) При $h \leq 3$ саж.:

$$L_n = 3\left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] + 2{,}60 \text{ саж.} \quad \ldots\ldots \quad (105).$$

гдѣ (c)—толщина свода въ ключѣ, которая можетъ быть принята вообще равной

$$c = 0{,}30 \text{ саж.}$$ [1]).

Съ повышеніемъ проектной линіи на величину (x), (въ предположеніи, что высота стѣнъ трубы H остается безъ измѣненія) длина трубы увеличится, принимая значеніе:

$$L_n^x = 3\left[h + x - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] + 2{,}60 = L_n + 3x \quad \dots\dots (106),$$

а объемъ будетъ равенъ слѣдовательно:

$$V_n^x = (L_n + 3x)\,\omega + V_h = V_n + 3\,\omega\,.\,x \quad \dots\dots (107)$$

2) При $h > 3$ саж.

$$L_N = 3{,}50\left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3{,}00\right)\right] + 11{,}60 \text{ саж.} \quad \dots\dots (108),$$

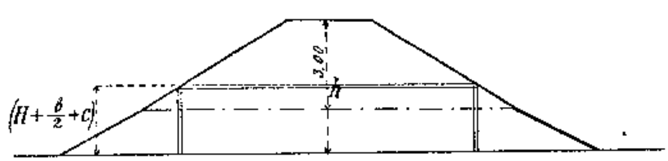
а съ повышеніемъ отмѣтки до $(h + x)$:

$$L_N^x = L_N + 3{,}50\,x \quad \dots\dots (109)$$

и

$$V_N^x = (L_N + 3{,}50\,x)\,\omega + V_b = V_N + 3{,}50\,\omega\,.\,x \quad \dots\dots (110)$$

Необходимо замѣтить, что отмѣтка насыпи $h = 3$ саж. вообще говоря не можетъ служить предѣломъ для примѣненія первой или второй формулы; такъ, при данныхъ: $h = 4{,}00$ с.; $b = 1{,}00$ с. и $H = 1{,}00$ с., ключевая линія трубы (какъ можно убѣдиться съ помощью фиг. 23), располагается въ верхней части насыпи; слѣдовательно, не



Фиг. 23.

смотря на то, что $h > 3{,}00$ саж., длина трубы должна подсчитываться по формулѣ (105). Это же явствуетъ непосредственно изъ выраженія:

$$h - \left[H + \frac{b}{2} + c\right] = 4 - 1{,}80 = \left[2{,}20 < 3{,}00\right];$$

такимъ образомъ, признакомъ правильности примѣненія первой или второй формулы служитъ выраженіе

$$\left[h^x - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] \lesseqgtr 3 \text{ саж.} \quad \dots\dots (111).$$

---

[1]) При болѣе точныхъ выкладкахъ необходимо имѣть въ виду, что (c) вообще измѣняется отъ 0,20 до 0,45 саж. главнымъ образомъ въ зависимости отъ величины отверстія (b)

Если при отысканіи (x) обнаружится, что значеніе отмѣтки $(h + x)$ исключаетъ возможность подсчета по взятой (одной изъ двухъ) формулѣ, то въ такомъ случаѣ вводится поправка въ расчетъ, о которой говорится въ концѣ настоящаго отдѣла.

Въ случаѣ косогоровъ, если труба располагается такъ, какъ показано на фиг. (24) и (25), то длина ея (сумма длинъ отдѣльныхъ звеньевъ) выразится въ первомъ случаѣ (фиг. 24):

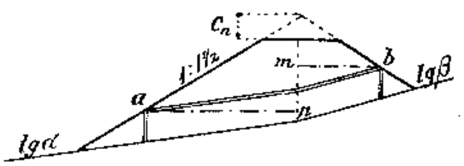
$$L_n = an + bm;$$

но

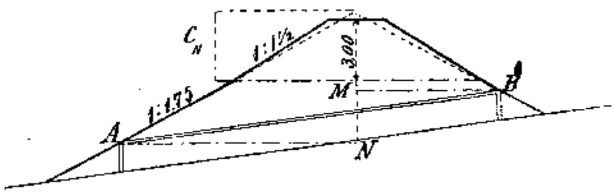
$$an = \left[\left(h + c_n\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right]\left[\frac{1}{tg\,i - tg\,\alpha}\right],$$

или сокращенно

$$an = \left[\left(h + c_n\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \bar{\varphi},$$



Фиг. 24.



Фиг. 25.

и

$$bm = \left[\left(h + c_n\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \left[\frac{1}{(tg\,i + tg\,\beta)}\right],$$

или

$$bm = \left[\left(h + c_n\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \overset{+}{\varphi},$$

поэтому

$$L_n = \left[\left(h + c_n\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \left[\frac{1}{(tg\,i - tg\,\alpha)} + \frac{1}{(tg\,i + tg\,\beta)}\right], \;.\;. \quad (112)$$

или сокращеннѣе, обозначая $\left(\bar{\varphi} + \overset{+}{\varphi}\right) = \varphi$:

$$L_n = \left[\left(h + c_n\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \left(\bar{\varphi} + \overset{+}{\varphi}\right) = \left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right]\varphi + c_n\varphi; \quad (113)$$

здѣсь (c_n)—есть постоянная высота $\triangle^{ка}$ (фиг. 24), равная въ нормальномъ профилѣ

$$c_n = \frac{a_n}{2} . tg\,i = \frac{2{,}60}{2} . \frac{2}{3} = 0{,}87 \text{ саж.}$$

Во второмъ случаѣ (фиг. 25):

$$L_N = AN + MB,$$

или

$$L_N = \left[\left(h - 3 + c_N\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \left[\frac{1}{(tg\,J - tg\,\alpha)} + \frac{1}{(tg\,J + tg\,\beta)}\right];$$

обозначая

$$\frac{1}{(tg\,J - tg\,\alpha)} + \frac{1}{(tg\,J + tg\,\beta)} = \left(\bar{\Theta} + \overset{+}{\Theta}\right) = \Theta,$$

получимъ:

$$L_{\kappa} = \left[\left(h + c_{\kappa}\right) - \left((H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right]\Theta,$$

что можно переписать въ слѣдующемъ видѣ:

$$L_{\kappa} = \left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right]\Theta + \Theta c_{\kappa}\,; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (114)$$

здѣсь c_{κ} — также высота $\triangle^{\kappa a}$ (фиг. 25), равная въ нормальномъ профилѣ:

$$c_{\kappa} = \frac{a_{\kappa}}{2}\,.\,\mathrm{tg}\,J = \left(\frac{a_{n}}{2} + \frac{3}{\mathrm{tg}\,i}\right).\,\mathrm{tg}\,J = (1{,}30 + 4{,}50)\,{}^{4}/_{7} = 3{,}31 \text{ саж.}$$

При отсутствіи косогора $\mathrm{tg}\,\alpha = 0$,

и $\quad \phi = 1{,}50 + 1{,}50 = 3{,}00$,

а $\quad \Theta = 1{,}75 + 1{,}75 = 3{,}50$;

подставляя эти значенія въ формулы (113) и (114) будемъ имѣть ранѣе найденныя выраженія (105) и (108);

благодаря такой аналогичности формулъ можемъ написать:

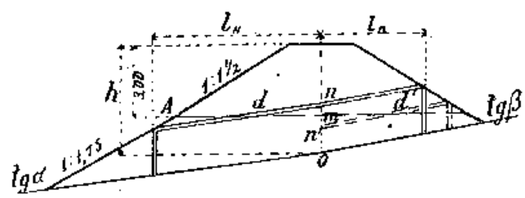
1) $L_{n}^{x} = L_{n} + \phi\,.\,x$; . . . . (115)

$V_{n}^{x} = V_{n} + \phi\,.\,\omega\,.\,x$; . . . . (116)

2) $L_{\kappa}^{x} = L_{\kappa} + \Theta\,.\,x$ . . . . (117)

и $V_{\kappa}^{x} = V_{\kappa} + \Theta\,.\,\omega\,.\,x$ . . . . (118).

Кромѣ указанныхъ положеній (фиг. 24 и 25), труба можетъ занимать и нѣкоторое с р е д н е е п о л о ж е н і е (фиг. 26); оно характеризуется тѣмъ, что отрѣзокъ (md) или (md′)<mA;



Фиг. 26.

величина

$$md = \frac{mn}{\mathrm{tg}\,\alpha},$$

гдѣ
$$mn = \left(on - om\right) = \left(H + \frac{b}{2} + c\right) - \left(h - 3\right),$$

или

$$mn = \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right) - h = -\left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right] \quad \ldots \quad (119)$$

величина-же

$$mA = \left(\frac{a_{n}}{2} + \frac{3}{\mathrm{tg}\,i}\right) = 1{,}75\,c_{\kappa} = 5{,}80 \text{ саж.}$$

Равнымъ образомъ,

$$md' = \frac{mn'}{\mathrm{tg}\,\beta},$$

гдѣ

$$mn' = om - on' = \left(h - 3\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right) = \left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right] \quad . (120).$$

Такимъ образомъ, видимъ, что признакомъ указаннаго выше средняго положенія трубы являются неравенства:

$$-\left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right] < 5{,}80 \ \mathrm{tg}\,\alpha \ \ldots\ldots\ldots (121)$$

и

$$\left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right] < 5{,}80 \ \mathrm{tg}\,\beta \ \ldots\ldots\ldots (122)$$

которыя можно замѣнить однимъ:

$$\left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right] < 5{,}80 \ \mathrm{tg}\,\alpha, \ \ldots\ldots\ldots (123)$$

подразумѣвая подъ первой частью его—абсолютную величину, а подъ tg α — уклонъ косогора въ ту или другую сторону отъ оси.

Длина трубы опредѣлится въ данномъ случаѣ съ помощью обѣихъ формулъ (113) и (114), а именно (фиг. 26):

$$L = l_n + l_\kappa,$$

гдѣ

$$l_n = \left[h + \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \left(\frac{1}{\mathrm{tg}\,i + \mathrm{tg}\,\beta}\right) + c_n . \left(\frac{1}{\mathrm{tg}\,i + \mathrm{tg}\,\beta}\right),$$

или

$$l_n = \left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \bar{\Phi} + c_n . \overset{+}{\Phi}; \ \ldots\ldots\ldots (124)$$

и

$$l_\kappa = \left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right] . \bar{\Theta} + c_\kappa . \bar{\Theta}; \ \ldots\ldots\ldots (125)$$

слѣдовательно

$$L = l_n + l_\kappa = \left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right]\left(\overset{+}{\Phi} + \bar{\Theta}\right) + c_n \overset{+}{\Phi} + (3 + c_n)\,\bar{\Theta} \ \ldots (126)$$

Въ зависимости отъ (x) длина трубы выразится такъ:

$$L^x = L + \left(\overset{+}{\Phi} + \bar{\Theta}\right).x, \ \ldots\ldots\ldots (127)$$

а объемъ

$$V^x = V + \left(\overset{+}{\Phi} + \bar{\Theta}\right)\omega \, . \, x \ \ldots\ldots\ldots (128).$$

Для величинъ

$$\bar{\Phi} = \frac{1}{(\mathrm{tg}\,i - \mathrm{tg}\,\alpha)} \text{ и } \overset{+}{\Phi} = \frac{1}{(\mathrm{tg}\,i + \mathrm{tg}\,\beta)}$$

при $\mathrm{tg}\,i = 1:1{,}50$, а также для

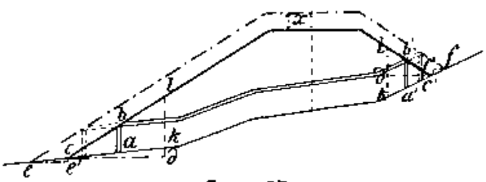
$$\bar{\Theta} = \frac{1}{(\mathrm{tg}\,J - \mathrm{tg}\,\alpha)} \text{ и } \overset{+}{\Theta} = \frac{1}{(\mathrm{tg}\,J + \mathrm{tg}\,\beta)}$$

при $\mathrm{tg}\,J = 1:1{,}75$ дана ниже таблица № 10 составленная для различныхъ уклоновъ косогора ($tg\,\alpha$, $tg\,\beta$); кромѣ того, на случай равенства $tg\,\alpha = tg\,\beta$ приведены еще значенія

$$\phi = \left(\overset{-}{\phi} + \overset{+}{\phi}\right) \text{ и } \Theta = \left(\overset{-}{\Theta} + \overset{+}{\Theta}\right)$$

Когда подсчетъ земляныхъ работъ производится по поперечнымъ профилямъ, то длина трубы измѣряется на профилѣ непосредственно, какъ горизонтальное разстояніе между линіями ab и a'b' (фиг. 27), гдѣ самые отрѣзки равны

$$ab = a'b' = \left(H + \frac{b}{2} + c\right).$$



Фиг. 27.

Съ повышеніемъ проектной линіи на величину (x) длина трубы получитъ приращеніе:

$$\triangle L = ee' + ff';$$

чтобы опредѣлить это приращеніе въ функціи отъ (x) воспользуемся методомъ изложеннымъ выше (см. отдѣлъ I, § 3);
на основаніи отношеній

$$\frac{x}{ee'} = \frac{kl}{cd}$$

и

$$\frac{x}{ff'} = \frac{kl}{c'd'},$$

будемъ имѣть:

$$ee' = x \cdot \frac{cd}{kl} \text{ и } ff' = x \cdot \frac{c'd'}{kl},$$

поэтому

$$\triangle L = x \cdot \frac{(cd + c'd')}{kl}; \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (129)$$

выбравъ отрѣзокъ (kl) такъ, чтобы въ принятомъ масштабѣ онъ равенъ былъ единицѣ, т. е.:

$$kl = 1{,}00 \text{ [1]},$$

получимъ

$$\triangle L = (cd + c'd')\, x = T \cdot x, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (130)$$

при чемъ отрѣзки (cd) и (c'd') измѣряются непосредственно циркулемъ.

Такимъ образомъ новая длина трубы будетъ равна:

$$L^x = L + \triangle L = L + Tx, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (131)$$

а объемъ:

$$V^x = (L + Tx)\,\omega + V_b = V + T\omega x \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (132).$$

---

[1]) Обыкновенно для масштаба берется 2 саж. въ 0,01 саж., слѣдовательно $kl = \frac{1}{2}$ сотки.

Т а б л и

значенiй косогорныхъ коэффицiентовъ

Уклонъ косогора	$\overset{+}{\Phi}=\frac{1}{(\operatorname{tg} i+\operatorname{tg}\alpha)}$	$\overset{-}{\Phi}=\frac{1}{(\operatorname{tg} i-\operatorname{tg}\alpha)}$	$\Phi=\left(\overset{+}{\Phi}+\overset{-}{\Phi}\right)$	$\overset{+}{\Theta}=\frac{1}{(\operatorname{tg} J+\operatorname{tg}\alpha)}$	$\overset{-}{\Theta}=\frac{1}{(\operatorname{tg} J-\operatorname{tg}\alpha)}$	$\Theta=\left(\overset{+}{\Theta}+\overset{-}{\Theta}\right)$	Уклонъ косогора	$\overset{+}{\Phi}=\frac{1}{(\operatorname{tg} i+\operatorname{tg}\alpha)}$	$\overset{-}{\Phi}=\frac{1}{(\operatorname{tg} i-\operatorname{tg}\alpha)}$	$\Phi=\left(\overset{+}{\Phi}+\overset{-}{\Phi}\right)$	$\overset{+}{\Theta}=\frac{1}{(\operatorname{tg} J+\operatorname{tg}\alpha)}$	$\overset{-}{\Theta}=\frac{1}{(\operatorname{tg} J-\operatorname{tg}\alpha)}$	$\Theta=\left(\overset{+}{\Theta}+\overset{-}{\Theta}\right)$
$\operatorname{tg}\alpha$	$\operatorname{tg} i={}^{2}/_{3}$; (откосъ 1:1,50)			$\operatorname{tg} J={}^{4}/_{7}$; (откосъ 1:1,75)			$\operatorname{tg}\alpha$	$\operatorname{tg} i={}^{2}/_{3}$; (откосъ 1:1,50)			$\operatorname{tg} J={}^{4}/_{7}$; (откосъ 1:1,75)		
0,00	1,500	1,500	3,000	1,750	1,750	3,500	**0,25**	1,091	2,400	3,491	1,219	3,125	4,344
01	1,478	1,523	3,001	1,724	1,786	3,510	26	1,080	2,460	3,540	1,204	3,226	4,430
02	1,456	1,546	3,002	1,696	1,818	3,514	27	1,068	2,523	3,591	1,190	3,333	4,523
03	1,436	1,571	3,007	1,666	1,852	3,518	28	1,057	2,588	3,645	1,176	3,448	4,624
04	1,416	1,596	3,012	1,640	1,886	3,526	29	1,046	2,656	3,702	1,162	3,572	4,734
05	1,396	1,622	3,018	1,614	1,923	3,537	**0,30**	1,035	2,728	3,763	1,149	3,705	4,854
06	1,376	1,648	3,024	1,588	1,960	3,548	31	1,024	2,805	3,829	1,136	3,847	4,983
07	1,357	1,676	3,033	1,562	2,000	3,562	32	1,014	2,886	3,900	1,123	4,000	5,124
08	1,338	1,704	3,042	1,538	2,042	3,580	33	1,004	2,968	3,972	1,111	4,190	5,301
09	1,321	1,734	3,055	1,516	2,084	3,600	34	0,994	3,060	4,054	1,098	4,348	5,446
0,10	1,304	1,764	3,068	1,492	2,128	3,620	35	0,984	3,158	4,142	1,086	4,546	5,632
11	1,288	1,796	3,084	1,470	2,174	3,644	36	0,974	3,260	4,234	1,075	4,762	5,837
12	1,272	1,830	3,102	1,449	2.223	3,672	37	0,965	3,372	4,337	1,063	5,000	6,063
13	1,256	1,864	3,120	1,428	2,274	3,702	38	0,956	3,490	4,446	1,052	5,264	6,316
14	1,240	1,898	3,138	1,408	2,327	3,735	39	0,948	3,616	4,564	1,041	5,556	6,597
15	1,225	1,936	3,161	1,388	2,382	3,770	**0,40**	0,939	3,750	4,689	1,030	5,883	6,913
16	1,210	1,975	3,185	1,370	2,440	3,810	41	0,930	3,896	4,826	1,020	6,250	7,270
17	1,196	2,014	3,210	1,352	2,500	3,852	42	0,922	4,054	4,976	1,010	6,666	7,676
18	1,182	2,056	3,238	1,334	2,564	3,898	43	0,913	4,224	5,137	1,000	7,142	8,142
19	1,168	2,098	3,266	1,316	2,632	3,948	44	0,904	4,412	5,316	0,990	7,692	8,682
0,20	1,155	2,144	3,299	1,298	2,704	4,002	45	0,896	4,616	5,512	0,980	8,334	9,314
21	1,141	2,192	3,333	1.282	2,778	4,060	46	0,888	4,838	5,726	0,970	9.090	10,060
22	1,128	2,240	3,368	1,266	2,858	4,124	47	0,881	5,084	5,965	0,961	10,000	10,961
23	1,115	2,290	3,405	1,250	2,942	4,192	48	0,874	5,358	6,232	0,952	11,112	12,064
24	1,102	2,344	3,446	1,234	3,031	4,265	49	0,866	5,660	6,526	0,943	12,500	13,443
0,25	1,091	2,400	3,491	1,219	3,125	4,344	**0,50**	0,858	6,000	6,858	0,934	14,286	15,220

ца № 10

при различныхъ уклонахъ косогора tg α.

Уклонъ косогора tg α	$+\Phi = \frac{1}{(\text{tg}\, i + \text{tg}\, \alpha)}$	$-\Phi = \frac{1}{(\text{tg}\, i - \text{tg}\, \alpha)}$	$\Phi = (+\Phi + -\Phi)$	$+\Theta = \frac{1}{(\text{tg}\, J + \text{tg}\, \alpha)}$	$-\Theta = \frac{1}{(\text{tg}\, J - \text{tg}\, \alpha)}$	$\Theta = (+\Theta + -\Theta)$	Уклонъ косогора tg α	$+\Phi = \frac{1}{(\text{tg}\, i + \text{tg}\, \alpha)}$	$-\Phi = \frac{1}{(\text{tg}\, i - \text{tg}\, \alpha)}$	$\Phi = (+\Phi + -\Phi)$	$+\Theta = \frac{1}{(\text{tg}\, J + \text{tg}\, \alpha)}$	$-\Theta = \frac{1}{(\text{tg}\, J - \text{tg}\, \alpha)}$	$\Theta = (+\Theta + -\Theta)$
	tg i = $^2/_3$; (откосъ 1:1,50)			tg J = $^4/_7$; (откосъ 1:1,75)				tg i = $^2/_3$; (откосъ 1:1,50)			tg J = $^4/_7$ (откосъ 1:1,75)		
0,50	0,858	6,000	6,858	0,934	14,286	15,220	**0,75**	0,706					
51	0,850	6,384	7,234	0,926	16,666	17,592	76	0,701					
52	0,842	6,824	7,666	0,918	20,000	20,918	77	0,696					
53	0,835	7,318	8,153	0,909	25,000	25,909	78	0,691					
54	0,828	7,896	8,724	0,900	33,334	34,234	79	0,686					
55	0,822	8,572	9,394	0,892	50,000	50,892	**0,80**	0,682					
56	0,815	9,376	10,191	0,885	100,000	100,885	81	0,678					
57	0,808	10,346	11,154	0,878	∞	∞	82	0,673					
58	0,802	11,538	12,340	—			83	0,669					
59	0,796	13,044	13,840				84	0,664					
0,60	0,790	15,000	15,790				85	0,660					
61	0,784	17,648	18,432				86	0,656					
62	0,778	21,428	22,206				87	0,652					
63	0,772	27,274	28,046				88	0,648					
64	0,766	42,858	43,624				89	0,644					
65	0,760	60,000	60,760				**0,90**	0,639					
66	0,754	150,000	150,754				91	0,635					
67	0,748	∞	∞				92	0,631					
68	0,742						93	0,627					
69	0,737						94	0,624					
0,70	0,731						95	0,620					
71	0,726						96	0,616					
72	0,721						97	0,612					
73	0,716						98	0,608					
74	0,712						99	0,604					
0,75	0,706						**1,00**	0,600					

Вычетъ земляныхъ работъ на мѣстѣ трубъ.

При подсчетѣ количества земляныхъ работъ необходимо при точности расчета выключать кубатуру, соотвѣтствующую данной трубѣ.

Кубатура эта опредѣляется съ достаточной точностью нѣкоторымъ тѣломъ поперечное сѣченіе котораго равно (Ω_z), а длина (L_z), вычисляемыя слѣдующимъ образомъ:

при высотѣ насыпи (h) и высотѣ стѣнокъ (H), поперечное сѣченіе (Ω_z) опредѣляется формулами для трубъ различныхъ отверстій (b) въ кв. саженяхъ:

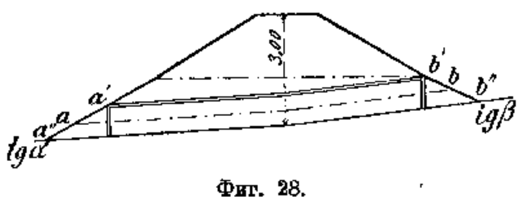
$$\left.\begin{array}{ll}
1)\ \mathbf{b = 0{,}50}: & \Omega_z = \omega_b + (0{,}30\,H - 0{,}05\,h - 0{,}95);\ ^{1)} \\
2)\ \mathbf{b = 0{,}75}: & \Omega_z = \omega_b + (0{,}55\,H - 0{,}04\,h - 1{,}20); \\
3)\ \mathbf{b = 1{,}00}: & \Omega_z = \omega_b + (0{,}80H - 0{,}05\,h - 1{,}20); \\
4)\ \mathbf{b = 1{,}50}: & \Omega_z = \omega_b + (1{,}30\,H - 0{,}06\,h - 1{,}20); \\
5)\ \mathbf{b = 2{,}00}: & \Omega_z = \omega_b + (1{,}80\,H - 0{,}06\,h - 0{,}95); \\
6)\ \mathbf{b = 2{,}50}: & \Omega_z = \omega_b + (2{,}30\,H - 0{,}06\,h - 0{,}55); \\
\text{и } 7)\ \mathbf{b = 3{,}00}: & \Omega_z = \omega_b + (2{,}80\,H - 0{,}06\,h + 0{,}10).
\end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (133).$$

Что же касается длины L_z, то она можетъ быть принята равной:

$$L_z = \frac{(L + R)}{2}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (134)$$

гдѣ L — длина трубы, вычисляемая по одной изъ извѣстныхъ формулъ, (горизонтальное разстояніе между точками a' и b' фиг. 28) и R — подобное же разстояніе между крайними бровками a'' и b'', вычисляемое по совершенно аналогичнымъ формуламъ;

Такимъ образомъ $L_z = \frac{L + R}{2}$ равно разстоянію между точками (a) и (b) и выразится слѣдующимъ образомъ (фиг. 28):



Фиг. 28.

$$L_z = \left[(h - 3 + c_н) - \frac{(H + \frac{b}{2} + c)}{2}\right] \cdot \left[\frac{1}{(\operatorname{tg} J + \operatorname{tg} \alpha)} + \frac{1}{(\operatorname{tg} J + \operatorname{tg} \beta)}\right],$$

или

$$L_z = \left[(h + 0{,}31) - \frac{(H + \frac{b}{2} + c)}{2}\right] \theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (135).$$

[1]) ω_b — площадь поперечнаго сѣченія трубы.

При отмѣткѣ $(h + x)$ таже длина будетъ:

$$L_z^x + L_z + \Theta x \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (136)$$

и въ случаѣ ровной мѣстности, гдѣ $\Theta = 3{,}50$,

$$L_z^x = L_z + 3{,}50\ x; \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (137).$$

поэтому выключаемый объемъ равенъ вообще:

$$V_z^x = L_z^x . \Omega_z^x = L_z\ \Omega_z^x + \Theta\ \Omega_z^x . x\ ^{1)} \quad \dots \dots \dots \dots \quad (138).$$

Въ случаѣ полуторныхъ откосовъ будемъ имѣть:

$$L_z = \left[(h + 0{,}87) - \frac{(H + \frac{b}{2} + c)}{2} \right] \phi. ; \quad \dots \dots \dots \dots \quad (135\ \text{bis})$$

$$L_z^x = L_z + \phi x \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (136\ \text{bis})$$

или, въ ровной мѣстности:

$$L_z^x = L_z + 3x \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (137\ \text{bis})$$

и объемъ

$$V_z^x = L_z\ \Omega_z = \phi . \Omega_z\ x \quad \dots \dots \dots \dots \dots \quad (138\ \text{bis})$$

---

[1]) Ω_z^x можетъ быть принято равнымъ Ω_z.

4. Общія замѣчанія къ отдѣлу искусственныхъ сооруженій.

Составляя формулы объемовъ кладки и ихъ приращеній въ функціи отъ (x) мы видѣли, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ объемъ какого-либо сооруженія не могъ быть выраженъ одной общей формулой, а требовалъ специальной формулы для извѣстныхъ предѣловъ величины H (рабочихъ отмѣтокъ, или высотъ стѣнокъ и т. п.).

Такъ, напримѣръ, объемъ кладки какого-либо типа подпорныхъ стѣнъ на растворѣ выражается различно въ зависимости отъ высоты стѣнки H, (см. § 1); затѣмъ, объемъ кладки моста опредѣленнаго отверстія выражается, какъ найдено, (см. § 2), двумя или тремя формулами, соотвѣтствующими различнымъ предѣламъ рабочихъ отмѣтокъ (H); наконецъ, (см. § 3), длина трубы въ зависимости отъ тѣхъ же отмѣтокъ выражается двумя отличающимися одна отъ другой формулами. Хотя указываемые предѣлы отмѣтокъ сравнительно велики и, кромѣ того, величина (x) при нѣкоторомъ навыкѣ въ проектированіи не будетъ особенно значительной,—все же возможны случаи, когда найденная изъ нѣкотораго уравненія величина (x), удовлетворяющая условію—minimum'а стоимости всѣхъ работъ, укажетъ на неправильное примѣненіе какого-либо частнаго выраженія объема кладки, введеннаго въ разсматриваемое уравненіе; въ самомъ дѣлѣ: частное выраженіе можетъ быть составлено, н. п., при нѣкоторой отмѣткѣ H, заключенной въ какихъ-либо предѣлахъ (H_1—H_2), соотвѣтственно, которымъ и выбрана формула возростанія объема въ зависимости отъ (x); между тѣмъ найденное значеніе $x = x_1$ можетъ быть таково, что $(H + x_1)$ выйдетъ изъ первоначальныхъ предѣловъ и окажется, н. п., заключеннымъ въ (H_2—H_3), для которыхъ должна быть примѣнена уже другая (имъ соотвѣтствующая) формула возростанія объема.

Такимъ образомъ является затрудненіе вслѣдствіе необходимости для одного и того же сооруженія пользоваться различными формулами.

Однако подобное затрудненіе, какъ увидимъ ниже на примѣрахъ, разрѣшается легко простымъ введеніемъ поправки въ первоначальный расчетъ [1]).

А. Мосты.

Пусть объемъ кладки для насыпи H отъ 0,50 до 2,50 саж. выражается формулой

$$V_a = 2 + 3H + 3H^2 \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (\alpha)$$

а для высоты H отъ 2,50 и болѣе

$$V_6 = -15 + 14H + 3H^2, \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (\beta)$$

что изображено на фиг. 29 соотвѣтственными кривыми (a) и (б).

[1]) Въ изложеніи будемъ для наглядности одинаково пользоваться формулами какъ въ ихъ алгебраическомъ (буквенномъ), такъ и въ графическомъ (изображенномъ кривыми) видѣ.

Въ зависимости отъ (x) выраженія эти будутъ:

$$V_а^x = V_а + (3 + 6\ H)\ x + 3x^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\alpha_x)$$

и $$V_б^x = V_б + (14 + 6\ H)\ x + 3x^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\beta_x)$$

гдѣ члены, содержащіе (x) представляютъ величину приращенія объема.

Предположимъ, что начальное положеніе проектной линіи совпадаетъ съ высотой насыпи у даннаго сооруженія—$H = 3$ саж.; отмѣтка эта находится на кривой (б), поэтому формулы, относящіяся сюда будутъ (β) и (β_x).

Еслибы при рѣшеніи вопроса о minimum'ѣ стоимости работъ оказалось, что проектная линія должна быть опущена на 0,50 саж.. т. е. $x = -0{,}50$ саж., то новое количество кладки совершенно правильно нашлось-бы по формулѣ (β^x), т. е.

$$V_б^x = V_б + (14 + 6{,}3)\ (-0{,}50) + 3\ (-0{,}50)^2 = (V_б - 15{,}25) \text{ кб. с.}$$

или

$$V_б^x = 54{,}00 - 15{,}25 = 38{,}75 \text{ куб. с.}$$

потому-что значеніе $(H + x) = 3 - 0{,}50 = 2{,}50$ с. не выходитъ еще изъ предѣловъ кривой (б).

Та же формула, однако, дастъ уже невѣрный результатъ, если положить, что ($x = -1$). Въ самомъ дѣлѣ: опредѣляя новое количество кладки при $x = -1$ имѣемъ:

$$V_б^x = V_б + (14 + 6.3)\ (-1{,}00) + 3\ (-1)^2 = V_б - 29{,}00 = 54 - 29 = 25 \text{ куб. с.}$$

Между тѣмъ новая отмѣтка $H + x = 3 - 1 = 2$ саж. требуетъ подсчета кладки по формулѣ (α), которая даетъ:

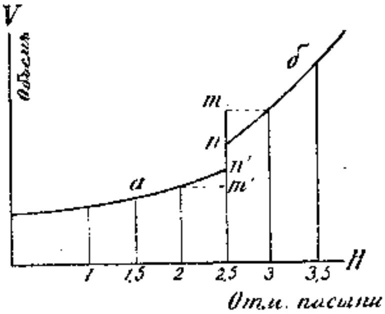
$$V_б = 2 + 3.2 + 3.2^2 = 20{,}00 \text{ куб. саж.}$$

Какъ видимъ, получилась разница, какъ слѣдствіе неправильно примѣненной формулы (β^x), требующей въ данномъ случаѣ введенія поправки; эта послѣдняя находится на основаніи слѣдующихъ ниже соображеній.

Выше было найдено, что кубатура кладки при отмѣткѣ $H = 3$ саж. равна 54 кб. с., а при отмѣткѣ $H = 2$ саж.—20 кб. с.; слѣдовательно приращеніе (отрицательное) равно $54 - 20 = 34$ кб. с.

Приращеніе это измѣряется суммой отрѣзковъ (фиг. 29):

$$\Delta V = mn + nn' + m'n'$$



Фиг. 29.

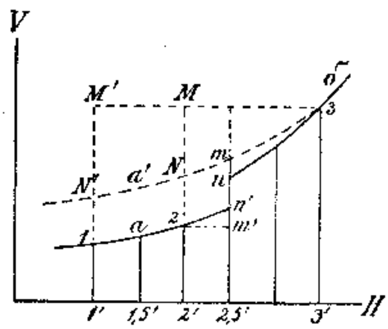
и можетъ быть выражено нѣсколько иначе [1]), а именно: перемѣщая кривую (а).

[1]) Измѣрять приращеніе суммой отрѣзковъ ($mn + nn' + n'm'$) крайне неудобно въ виду того, что пришлось бы въ расчетахъ считать величину (x) отъ различныхъ осей кординатъ

параллельно самой себѣ въ положенiе (a′) настолько, чтобы она прошла черезъ основную точку кривой (б), т. е. точку 3, соотвѣтствующую начальной отмѣткѣ насыпи у сооруженiя, (фиг. 30), замѣчаемъ, что сумму отрѣзковъ ($mn + nn' + n'm'$) [1]) можно замѣнить суммой таковыхъ-же ($MN + N2$), т. е.

$$\Delta V = mn + nn' + n'm' = MN + N2.$$

Первый изъ нихъ, т. е. (MN) представляетъ очевидно приращенiе кладки, опредѣляемое по кривой (a) при начальномъ значенiи $H=3$ саж. въ предѣлахъ отъ начальнаго значенiя $H=3$ с. до конечнаго—$H=2$ с., т. е. для $x=-1$; слѣдовательно величина приращенiя найдется по формулѣ (α^x), какъ разность двухъ значенiй ($M2'$—$N2'$), (фиг. 30); но $M2'$ есть значенiе V_a при $H=3$, а $N2'$—значенiе V_a^x при томъ же H и при $x=-1$, поэтому:



Фиг. 30.

$$MN = M\,2' - N\,2' = V_a - V_a^x = -(3 + 6\,H)\,x - 3\,x^2).$$

или, при $H=3$ и $x=-1$:

$$MN = -(3 + 6.3)\,(-1) - 3\,(-1)^2 = 18{,}00 \text{ кб. саж.}$$

Что касается второго изъ отрѣзковъ, т. е. (N2), то онъ представляетъ нѣкоторую постоянную величину (r), равную разности высотъ положенiя кривыхъ (a) и (a′); отрѣзокъ этотъ можетъ быть опредѣленъ въ любомъ вертикальномъ сѣченiи какъ разность ординатъ.

Взявъ сѣченiе ($M2'$), (фиг. 30) найдемъ, что

$$r = N2 = M2' - (MN + \overline{22'});$$

$M2'$ — представляетъ кубатуру кладки, опредѣляемую по кривой (б) при $H=3$ с., т. е.

$$M2' = -15 + 14.3 + 3.9 = 54 \text{ кб. с.};$$

MN—найдено выше и равно 18 кб. с.; отрѣзокъ же $22'$—есть кубатура кладки, опредѣляемая по кривой (a) при $H=2$ саж., т. е.

$$22' = 2 + 3.2 + 3.4 = 20 \text{ кб. с.},$$

слѣдовательно $r = N2 = 54 - (18 + 20) = 16{,}00$ кб. с.

Такимъ образомъ, видимъ, что приращенiе равно и въ настоящемъ подсчетѣ:

$$\Delta V = MN + N2 = 18 + 16 = 34 \text{ саж.}$$

что тождественно съ опредѣленною ранѣе цифрой.

---

[1]) Буква m (фиг. 30) должна быть на линiи M′M.

Для упрощенія выкладокъ мы выбрали при опредѣленіи (r) сѣченіе $M\overline{2}'$; но тотъ же результатъ получился бы, если бы взяли какое-либо другое сѣченіе, н. п. (M′1′) и вычислили (N′1) = r = (N2).

Изъ даннаго примѣра ясно, что въ случаѣ, когда величина (x) выходитъ изъ предѣловъ взятой формулы, (въ нашемъ случаѣ—формула β^x), необходимо поступать слѣдующимъ образомъ:

1) въ данной формулѣ (β^x) замѣнить члены, содержащіе (x) и выражающіе приращеніе кладки,—таковыми же членами замѣняющей [1]) формулы,

и 2) дополнить формулу свободнымъ членомъ (r).

Такъ, въ нашемъ примѣрѣ, при начальномъ проектѣ, отвѣчающемъ H = 3 саж. и величинѣ x = —1 слѣдуетъ взять:

$$V = (-15 + 14\,H + 3\,H^2) + [(3 + 6\,H)\,x + 3x^2] \pm r,$$

или

$$V = 54{,}00 + [-18] \pm r = 36 \pm r.$$

Для опредѣленія величины (r) съ ея знакомъ въ свою очередь можетъ быть дано слѣдующее общее правило:

1) выбравъ нѣкоторое сѣченіе (H_s), соотвѣтствующее отмѣткѣ $H = H_s$, подставляютъ эту послѣднюю въ свободную замѣняющую формулу; найденная величина представитъ—уменьшаемое;

2) вычитаемое берется какъ сумма: а) начальнаго значенія основной свободной функціи, вычисленнаго при основной отмѣткѣ $H = H_1$, и б)—величины приращенія, опредѣленной по замѣняющей кривой при $x = (H_s - H_1)$ и той же основной отмѣткѣ ($H = H_1$).

Въ нашемъ примѣрѣ сѣченіе взято при $H_s = 2$; такъ какъ свободной замѣняющей формулой является выраженіе (α), т. е.

$$V_a = 2 + 3H + 3H^2,$$

то подставляя сюда $H_s = 2$, находимъ

$$V_a = 2 + 3.2 + 3.4 = 20,$$

что представляетъ уменьшаемое.

Далѣе, основной свободной функціей является выраженіе (β), т. е.

$$V_б = -15 + 14\,H + 3H^2;$$

при основной отмѣткѣ $H_1 = 3$, значеніе этой функціи будетъ:

$$V_б = -15 + 14.3 + 39 = 54{,}00.$$

Наконецъ, приращеніе по замѣняющей кривой—есть

$$\triangle V_a = (3 + 6\,H)\,x + 3x^2,$$

или, при $H = H_1 = 3$ и $x = (H_s - H_1) = (2-3) = -1$:

---

[1]) «Замѣняющей» будемъ называть формулу, подобную въ нашемъ случаѣ формулѣ (α^x), и «свободной замѣняющей» ту же формулу, но не заключающую членовъ съ (x) терминъ «замѣняющая» противополагается термину «основная» или «начальная».

$$\triangle V_{a} = (3 + 6.3)(-1) + 3(-1)^2 = -18{,}00.$$

Сумма (54—18) = 36 есть, согласно правилу—вычитаемое, слѣдовательно величина r будетъ равна:

$$r = 20 - 36 = -16,$$

что и найдено уже выше.

Такимъ образомъ находимъ $V = 36 \pm r = 36 - 16 = 20$, т. е. цифру, полученную ранѣе непосредственнымъ подсчетомъ по формулѣ (α) при $H = 2$.

В. Трубы.

Выше (§ 3) найдено уже было, что длина трубы выражается двумя различными формулами въ зависимости отъ высоты насыпи (h); здѣсь, слѣдовательно, также возможны случаи, когда значеніе отмѣтки $(h + x)$ выйдетъ изъ предѣла примѣненія основной формулы.

Разсмотримъ численный примѣръ.

Пусть при данной основной отмѣткѣ насыпи $h_1 = 3$ саж. проектирована труба, опредѣляемая слѣдующими величинами:

высота стѣнокъ $H = 1{,}00$ саж.;

отверстіе $b = 1{,}00$ саж. и

толщина свода въ ключѣ $(c) = 0{,}30$ саж.

Такъ какъ

$$[h - (H + \frac{b}{2} + c)] = 1{,}20 < 3{,}00 \text{ саж.},$$

то, на основаніи признака (111), длину трубы L_n найдемъ по формулѣ (105), а именно:

$$L_n = 3\,[h - (H + \frac{b}{2} + c)] + 2{,}60 = 6{,}20 \text{ саж.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (\alpha)$$

Въ зависимости отъ (x) длина, какъ знаемъ, выражается по (106) въ видѣ:

$$L_n^x = L_n + 3x = 6{,}20 + 3x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (\alpha^x)$$

Если при расчетѣ minimum'a стоимости работъ найдено, что $x = 1{,}00$ саж., то новая длина, подсчитанная по данной формулѣ окажется правильной, ибо на основаніи признака (111):

$$[h^x - (H + \frac{b}{2} + c)] = [(3 + 1) - (H + \frac{b}{2} + c)] = 2{,}20 < 3{,}00;$$

слѣдовательно новая длина равна

$$L_n^x = 6{,}20 + 3.(1) = 9{,}20 \text{ саж.}$$

Если же (x) окажется равнымъ

$$x = 2{,}00,$$

то въ силу того же признака, по которому

$$[(h + x) - (H + \frac{b}{2} + c)] = 3{,}20 > 3{,}00 \text{ саж.},$$

взятая формула (α^x) дастъ уже ошибочный результатъ, ибо при такихъ условіяхъ длина должна подсчитываться по формулѣ (108), а именно:

$$L_K = 3{,}50\,[h - (H + \frac{b}{2} + c + 3)] + 11{,}60, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (108)$$

при отмѣткѣ $h = h_1 + x = 5{,}00$ саж.

Въ самомъ дѣлѣ: опредѣляя новую длину по формулѣ (α^x) получимъ:

$$L_n{}^x = 6{,}20 + 3.\ (2) = 12{,}20 \text{ саж.},$$

между тѣмъ истинная длина равна:

$$L_N = 3{,}50\ [5 - (4{,}80)] + 11{,}60 = 12{,}30 \text{ саж.}\ ^{1)}.$$

Чтобы не мѣнять расчетъ кореннымъ образомъ достаточно ввести поправку; это дѣлается по тѣмъ же совершенно правиламъ, которыя изложены были выше.

Ссылаясь на нихъ поступаемъ слѣдующимъ образомъ: 1) въ основной формулѣ

$$L_n = 6{,}20 + 3\ x$$

замѣняемъ величину приращенія, т. е. (3x), величиной (3,50x), которая является приращеніемъ въ замѣняющей формулѣ, (109), т. е.

$$L_N{}^x = L_N + 3{,}50\ x;$$

Такимъ образомъ получимъ

$$L_n{}^x = 6\ 20, + 3{,}50\ x.$$

2) Дополняемъ формулу эту постояннымъ членомъ (r), который сейчасъ и отыщемъ:

a) взявъ сѣченіе $h_s = 4{,}00$ подставляемъ эту величину въ свободную замѣняющую формулу, изъ которой найдемъ, такимъ образомъ, величину уменьшаемаго:

$$L_N = 3{,}50 \left[h - (H + \frac{b}{2} + c + 3)\right] + 11{,}60 = 8{,}80 \text{ саж.};$$

b) начальное значеніе функціи при основной отмѣткѣ $h_1 = 3$ саж. равно (по основной же формулѣ):

$$L_n = 3 \left[h_1 - (H + \frac{b}{2} + c)\right] + 2{,}60 = 6{,}20 \text{ саж.},$$

а величина приращенія по замѣняющей кривой при $x = (h_s - h_1) = (4{,}00 - 3{,}00) = 1{,}00$ — равна:

$$\Delta L_N{}^x = 3{,}50\ x = (3{,}50)\ (1) = 3{,}50 \text{ саж.};$$

слѣдовательно $r = 8{,}80 - (6{,}20 + 3{,}50) = - 0{,}90$ саж.

Итакъ исправленная формула напишется окончательно въ видѣ:

$$L_n{}^x = 6{,}20 + 3{,}50\ x - 0{,}90 = 5{,}30 + 3{,}50\ x.$$

При $x = 2{,}00$ она дастъ величину

$$5{,}30 + (3{,}50).\ 2 = 12{,}30 \text{ саж.},$$

которая, какъ видѣли, и представляетъ истинную длину трубы.

---

[1]) Въ данномъ частномъ случаѣ разница незначительна, но вообще она можетъ быть велика.

C. Подпорныя стѣнки.

Возьмемъ для настоящаго примѣра случай стѣнки изъ сухой кладки типовъ 1 и 2.

Какъ извѣстно, типъ № 1 примѣняется для стѣнокъ высотою (H) не болѣе 4,25 саж., для высоты же $>$ 4,25 саж. и до 7,00—служитъ типъ № 2. Соотвѣтственно различнымъ типамъ, формулы для опредѣленія площади поперечныхъ сѣченій имѣютъ не одинаковый видъ и примѣняются въ тѣхъ же опредѣленныхъ предѣлахъ: 1) до 4,25 саж. высоты и 2) отъ 4,25 до 7,00 с.

Формулы эти (64 и 67) приведены выше (§ 1).

Пусть основная высота стѣнки при начальномъ положеніи проектной линіи равна

$$H = 7{,}00 \text{ саж.},$$

а высота надсыпки $h' = 0{,}75$ с.

Площадь сѣченія при этихъ данныхъ равна: (по таблицѣ A):

$$\omega = 12{,}22 \text{ кв. саж.}$$

Съ пониженіемъ проектной линіи настолько, чтобы высота стѣнки оказалась равной $H = 4{,}25$ саж., т. е. съ перемѣщеніемъ на величину

$$\frac{x}{n} = -2{,}75 \text{ с.},$$ [1]

площадь измѣняется согласно выраженію (67), а именно:

$$\omega^x = \omega + \Delta\omega = \omega + \frac{d''}{0{,}781}\left(\frac{x}{n}\right) + \frac{1}{15{,}62}\left(\frac{x}{n}\right)^2,$$

гдѣ $d'' = 1{,}875$ (по таблицѣ № 1),
и $n = (1 - {}^4/_5 \operatorname{tg}\alpha)$, т. е.:

$$\omega^x = 12{,}22 + \frac{1{,}875}{0{,}781}\left(\frac{x}{n}\right) + \frac{1}{15{,}62}\left(\frac{x}{n}\right)^2.$$

Такъ, н. п., при $\left(\frac{x}{n}\right) = -1$, площадь кладки, исчисленная по настоящей формулѣ, даетъ:

$$\omega^x = 12{,}22 + \frac{1{,}875}{0{,}781}\cdot(-1) + \frac{1}{15{,}62}\cdot(-1)^2 = 9{,}89,$$

что совершенно согласно и съ непосредственно взятой цифрой, изъ таблицы A при той же надсыпкѣ $h' = 0{,}75$ с. и высотѣ стѣнки H^x, равной:

$$H^x = 7{,}00 + \frac{x}{n} = 7 - 1 = 6{,}00 \text{ саж.}$$

Но еслибы величина (x) оказалась значительно большей и, н. п., $\left(\frac{x}{n}\right) = -4$, то высота стѣнки получилась бы:

$$H^x = H_1 + \frac{x}{n} = 7 - 4 = 3 \text{ саж.},$$

а слѣдовательно площадь кладки нельзя было бы исчислять по взятой формулѣ.

[1] Не слѣдуетъ смѣшивать—измѣненіе высоты стѣнки съ измѣненіемъ высоты положенія проектной линіи: когда линія перемѣщается на величину (x), то высота стѣнки измѣняется на $-\left(\frac{x}{n}\right)$.

На основаніи изложенныхъ выше правилъ необходимо въ такомъ случаѣ 1) замѣнить члены данной формулы, содержащіе (x) таковыми же членами формулы замѣняющей, какими являются (по 64):

$$\frac{d'}{0{,}832}\cdot\left(\frac{x}{n}\right)+\frac{1}{8{,}32}\left(\frac{x}{n}\right)^2;$$

здѣсь ($n=1-{}^2/_3\ tg\alpha$) и, соотвѣтственно откосу стѣнки (${}^2/_3$)—величина d' равна при 7 саж. высоты стѣнки (см. формулы 57):

$$d'=d+\frac{h''}{5}\quad=0{,}60+\frac{h'}{5}+\frac{h''}{5},$$

или

$$d'=0{,}60+\frac{0{,}75}{5}+\frac{7{,}00\ ^{1})}{5}=\underline{2{,}15\text{ саж.}}$$

2)—принять во вниманіе постоянный членъ (r); для опредѣленія этого послѣдняго возьмемъ сѣченіе $H_s=4{,}25$ саж., для котораго находимъ величину уменьшаемаго непосредственно по таблицѣ А, а именно: при $H_s=4{,}25$ и $h'=0{,}75$ величина $\omega=5{,}99$ кв. саж.

Далѣе, значеніе основной свободной функціи и есть начальная площадь стѣнки, т. е. 12,22 кв. с., а величина приращенія, взятая по формулѣ (замѣняющей):

$$\Delta\omega=\frac{2{,}15}{0{,}832}\left(\frac{x}{n}\right)+\frac{1}{8{,}32}\left(\frac{x}{n}\right)^2,$$

равна, при $\left(\frac{x}{n}\right)=(H_s-H_1)=(4{,}25-7{,}00)=-2{,}75,$

величинѣ

$$\Delta\omega=\frac{2{,}15}{0{,}832}(-2{,}75)+\frac{1}{8{,}32}(-2{,}75)^2,$$

или $\Delta\omega=2{,}58\ (-2{,}75)+0{,}12\ (-2{,}75)^2=-6{,}18$ кв. с.;

слѣдовательно

$$r=5{,}99-(12{,}22-6{,}18)=-0{,}05.$$

Такимъ образомъ исправленной формулой будетъ служить слѣдующая:

$$\omega^x=12{,}22+2{,}58\left(\frac{x}{n}\right)+0{,}12\left(\frac{x}{n}\right)^2-0{,}05=12{,}17+2{,}58\left(\frac{x}{n}\right)+0{,}12\left(\frac{x}{n}\right)^2.$$

Взявъ, какъ выше, $\frac{x}{n}=-4{,}00$, получимъ теперь:

$$\omega_x=12{,}17-10{,}32+1{,}92=3{,}77\text{ кв. саж.},$$

что согласно и съ непосредственнымъ подсчетомъ; въ самомъ дѣлѣ:

при $h'=0{,}75$ и $H_x=H_1+\frac{x}{n}=7{,}00-4{,}00=3{,}00$ саж. имѣемъ по таблицѣ А:

$$\omega=3{,}78\text{ кв. саж. }^{2}).$$

[1]) h''—высота стѣнки, (см. фиг. 16), значеніе которой въ формулѣ, въ силу правила по правки, распространяется и за предѣлы 4,25 с., т. е. замѣняется въ данномъ случаѣ цифрой 7

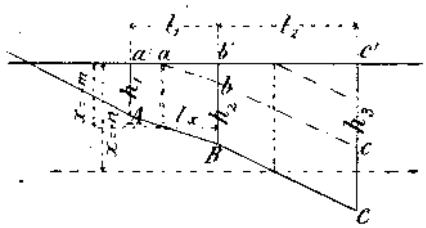
[2]) Не имѣющая значенія разница въ 0,01 кв. с. получена благодаря округленности въ сотыхъ доляхъ цифры 2,58 вмѣсто 2,584.

Говоря о возможныхъ неправильностяхъ въ примѣненіи формулъ, относящихся къ подпорнымъ стѣнкамъ слѣдуетъ сдѣлать еще одно замѣчаніе.

Съ измѣненіемъ высоты положенія проектной линіи можетъ оказаться, что общее протяженіе, занимаемое подпорными стѣнками, не остается прежнимъ; такъ, напримѣръ (фиг. 31), если стѣнки начинаются съ отмѣтки (Aa') и кончаются на отмѣткѣ (Cc'), то пока величина (x) не превышаетъ (Aa')—до тѣхъ поръ и крайнее разстояніе (l_1) и общее протяженіе остаются безъ измѣненія; но какъ только (x) становится $< Aa'$, то разстояніе (l_1) уменьшается, принимая перемѣнную величину (l_x)[1]). Въ такомъ случаѣ, н. п., при $x = -m = Cc$, съ измѣненіемъ разстоянія (l_1) до (l_x) измѣняется и соотвѣтственный объемъ (V_1), получая приращеніе (отрицательное) ΔV_1, ограниченное контуромъ ($Aa'abB$), при чемъ новый объемъ равенъ:

$$W_1^x = \frac{1}{2}\,\omega^x \,.\, l^x\,; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (139)$$

здѣсь (ω^x) есть площадь сѣченія стѣнки при отмѣткѣ $Bb' \perp x = Bb' - m = bb'$.



Фиг. 31.

Необходимую для расчета величину приращенія (ΔV_1) лучше всего разсматривать, какъ:

$$\Delta V_1 = \text{объему}\ (Aa'abB) = (Aa'bB - abb'),$$

или

$$\Delta V_1 = V_1 - \frac{1}{2}\,\omega^x\, l^x = (V_1 - W_1^x)\,; \quad \ldots\ldots \quad (140)$$

въ самомъ дѣлѣ: величина V_1 постоянная, и легко вычисляется по таблицѣ, какъ объемъ стѣнки, ограниченный извѣстными поперечными сѣченіями при данныхъ (Aa'), (Bb') и разстояніи (l_1); что же касается объема $W_1^x = \frac{1}{2}\,\omega^x\, l^x$, то онъ можетъ быть найденъ съ помощью слѣдующихъ соображеній:

ω^x — есть разность площадей сѣченій;

$$\omega^x = \omega_2 - \Delta\omega_2\,, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (141)$$

гдѣ ω_2 — вторая ограничивающая площадь разсматриваемаго объема V_1,
а $\Delta\omega_2$ — приращеніе этой же площади при измѣненіи положенія проектной линіи на величину (x), опредѣляемое, н. п., формулой (64), т. е.

$$\Delta\omega_2 = \frac{d'}{0{,}832\,(1 - {}^2/_3\,\mathrm{tg}\alpha)}\,.\,x + \frac{1}{8{,}32\,(1 - {}^2/_3\,\mathrm{tg}\alpha)^2}\,.\,x^2,$$

[1]) Вліяніе ошибки—при опредѣленіи протяженія стѣнокъ—на общій расчетъ необходимо принимать во вниманіе особенно въ томъ случаѣ, когда вслѣдствіе неудачнаго первоначальнаго положенія проектной линіи величина (x) можетъ имѣть значительное колебаніе.

или

$$\triangle \omega_2 = d' . \lambda . x + \mu . x^2;$$

здѣсь (d')—есть, какъ извѣстно, толщина стѣнки по низу и берется изъ таблицы № I, а (λ) и (μ)—коэффиціенты, также данные въ табличкѣ а (см. типъ № 1).

Такимъ образомъ

$$\omega^x = \omega_2 - \triangle \omega_2 = \omega_2 + [d' . \lambda . x + \mu . x^2] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (141 \text{ bis}).$$

Разстояніе (l^x) находится изъ соотношенія:

$$\frac{l_1}{l^x} = \frac{Bb' - Aa'}{Bb' - a} = \frac{h_2 - h_1}{h_2 + x},$$

откуда

$$l^x = l_1 \left(\frac{h_2 + x}{h_2 - h_1}\right); \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (142).$$

напримѣръ, при $h_2 = 3$ и $h_1 = 2$, величина $l^x = l_1 (3 + x) = 3 l_1 + l_1 x$, и т. п.

Слѣдовательно:

$$W_1^x = \frac{1}{2} \omega^x l^x = \frac{1}{2} \left[\omega_2 + d' \lambda x + \mu x^2\right] . l_1 \left(\frac{h_2 + x}{h_2 - h_1}\right), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (143).$$

и объемъ стѣнки, выраженный въ функціи отъ (x) равенъ;

$$V_1^x = V_1 - (V_1 - W_1^x) = V_1 + (W_1^x - V_1) = V_1 + \triangle V_1 . \quad . \quad . \quad . \quad (144).$$

Выраженіе это и представляетъ замѣняющую формулу въ томъ случаѣ, когда въ общемъ расчетѣ (о чемъ рѣчь впереди) выраженіе, составленное для (V_1^x) не можетъ быть примѣнено благодаря выходу (x) изъ предѣловъ начальнаго разстоянія;

такъ, напримѣръ, если первоначальное выраженіе (V_1^x) есть:

$$V_1^x = V_1 + a_1 x + b_1 x^2,$$

то въ случаѣ невозможности его примѣненія по указаннымъ выше причинамъ оно замѣняется выраженіемъ:

$$V_1^x = V_1 + (W_1^x - V_1)$$ [1].

Если бы величина (x) переходила и за предѣлъ слѣдующей отмѣтки $Bb' = h_2$, то и въ такомъ случаѣ остаются въ силѣ тѣ же разсужденія примѣнительно къ объему (V_2),—между отмѣтками (h_2) и (h_3) при разстояніи (l_2).

Такъ, напримѣръ, въ выраженіи:

$$V_2^x = V_2 + a_2 x + b_2 x^2,$$

величина приращенія $\triangle V_2 = (a_2 . x + b_2 x^2)$ замѣняется членами $\triangle V_2 = (W_2^x - V_2)$; кромѣ того въ общемъ выраженіи объема всей кладки стѣнъ, н. п.:

$$\Sigma V^x = \Sigma V + Ax + Bx^2,$$

---

[1]) См. ниже примѣръ № 4 опредѣленія minimum'а стоимости работъ.

гдѣ сдѣлана уже замѣна приращенія въ (V_2^x), — не слѣдуетъ принимать во вниманіе первый объемъ V_1, т. е. нужно брать:

$$\Sigma V^x = (\Sigma V - V_1) + Ax + Bx^2.$$

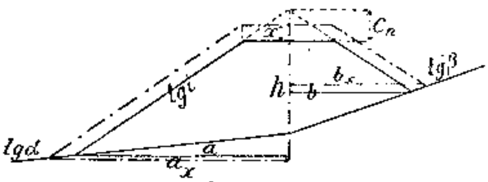
Такъ какъ отысканіе minimum'а вообще основано на приравниваніи нулю первой производной, то ясно, что нѣтъ необходимости вводить въ общій расчетъ величины постоянныя, какъ н. п. выше—ΣV, или $\Sigma V - V_1$ и т. д., производная отъ которыхъ равна нулю.

Но если желательно опредѣлить новую кубатуру всей кладки при нѣкоторомъ значеніи (x) непосредственно по общей формулѣ (ΣV^x), не прибѣгая къ подробному подсчету при новыхъ отмѣткахъ,—тогда введеніе постоянныхъ членовъ—обязательно. Замѣчаніе это въ равной степени относится и къ разсмотрѣннымъ выше случаямъ мостовъ и трубъ, а также и подпорныхъ стѣнъ, гдѣ шла рѣчь объ исправленіи формулъ съ помощью постояннаго члена (r).

III. ОТЧУЖДЕНІЕ ЗЕМЛИ.

Ширина полосы отчужденія обусловливается обыкновенно величиной земляныхъ работъ, положеніемъ различныхъ дорожныхъ сооруженій и стоимостью отчуждаемаго имущества; вообще же, — на магистральныхъ линіяхъ, — она не должна быть менѣе 20 саж., за исключеніемъ мѣстностей съ значительной цѣнностью имуществъ, гдѣ означенная ширина можетъ быть доведена до 6 и даже до 4 саженъ, считая отъ оси двойного пути.

Если обозначимъ ширину полосы отчужденія въ данной точкѣ насыпи—черезъ A, то съ повышеніемъ проектной линіи на величину (x) ширина эта, въ зависимости отъ увеличенія земляной работы, возрастетъ при чемъ приращеніе (ΔA) выразится слѣдующимъ образомъ (фиг. 32):



Фиг. 32.

$$\Delta A = (a_x - a) + (b_x - b) = (a_x + b_x) - (a + b) \quad \ldots \ldots \quad (145).$$

Мы знаемъ уже, что

$$a = (h + c_n) \cdot \frac{1}{(tgi - tg\alpha)} = (h + c_n) \cdot \overline{\varphi},$$

и

$$b = (h + c_n) \cdot \frac{1}{(tgi + tg\beta)} = (h + c_n) \cdot \overset{+}{\varphi};$$

точно такъ же найдемъ, что:

$$a_x = (h + c_n + x) \cdot \overline{\varphi} = a + \overline{\varphi} x,$$

и

$$b_x = (h + c_n + x) \cdot \overset{+}{\varphi} = b + \overset{+}{\varphi} x;$$

слѣдовательно

$$\Delta A = (a_x + b_x) - (a + b) = (\overline{\varphi} + \overset{+}{\varphi})\, x = \varphi \cdot x \quad \ldots \ldots \ldots \quad (146),$$

а вся новая ширина полосы:

$$A_x = A + \Delta A = A + \varphi x \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (147).$$

Если на смежномъ профилѣ возрастаніе равно

$$\triangle A_2 = \left[\frac{1}{(tgi - tg\alpha_2)} + \frac{1}{(tgi + tg\beta_2)}\right] x = \Phi_2 . x,$$

разстояніе же между профилями равно L, то приращеніе площади отчужденія Q_n будетъ:

$$\triangle Q_n = \frac{(\Phi_1 + \Phi_2)}{2} . L . x, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (148_n),$$

а вся новая площадь Q_n^x выразится такъ:

$$Q_n^x = Q_n + \triangle Q_n = Q_n + \frac{1}{2}(\Phi_1 + \Phi_2) L . x \quad \ldots \ldots \quad (149_n).$$

Если мѣстность горизонтальна, то

$$\alpha = \beta = 0,$$

и при $tgi = {}^2/_3$:

$$\Phi_1 = \Phi_2 = 3{,}00;$$

поэтому

$$Q_n^x = Q_n + 3 Lx \quad \ldots \ldots \ldots \quad (150_n).$$

При насыпи $h > 3$ саж. совершенно такъ же получимъ:

$$\triangle Q_к = \frac{(\Theta_1 + \Theta_2)}{2} L . x, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (148_к)$$

$$Q_к^x = Q_к + \frac{1}{2}(\Theta_1 + \Theta_2) L . x, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (149_к)$$

гдѣ

$$\Theta_1 = \left[\frac{1}{(tgJ - tg\alpha_1)} + \frac{1}{(tgJ + tg\beta_1)}\right]$$

и

$$\Theta_2 = \left[\frac{1}{(tgJ - tg\alpha_2)} + \frac{1}{(tgJ + tg\beta_2)}\right];$$

на мѣстности же горизонтальной, при $tgJ = {}^4/_7$:

$$Q_к^x = Q_к + 3{,}50 . L . x \quad \ldots \ldots \ldots \quad (150_к)$$

Для выемокъ получимъ совершенно аналогичныя выраженія при откосахъ (tgi) и рабочихъ отмѣткахъ (h—x), а именно:

$$\triangle Q_v = -\frac{1}{2}(\Phi_1 + \Phi_2) . L . x \quad \ldots \ldots \ldots \quad (148_v)$$

$$Q_v^x = Q_v - \frac{1}{2}(\Phi_1 + \Phi_2) . L . x \quad \ldots \ldots \ldots \quad (149_v).$$

а въ мѣстности ровной [1]);

$$Q_v^x = Q_v - 3 Lx \quad \ldots \ldots \ldots \quad (150_v).$$

---

[1]) На переходахъ—изъ насыпей въ выемки или обратно—формулы будутъ нѣсколько отличаться отъ полученныхъ, но безъ особой погрѣшности ихъ можно оставить безъ вниманія.

При графическомъ опредѣленіи площади, ширина ея берется циркулемъ на каждомъ профилѣ непосредственно; уширеніе же въ зависимости отъ (x) находится по формулѣ 130, какъ и для трубъ, т. е.

$$\triangle A = Tx \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 130.$$

Если уширеніе на двухъ смежныхъ профиляхъ равно T_1x и T_2x, разстояніе-же равно L, то приращеніе площади $\triangle Q$ выразится равенствомъ:

$$\triangle Q = \pm \frac{1}{2}(T_1 + T_2) L \, . \, x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (151).$$

а вся новая площадь будетъ равна:

$$Q_x = Q \pm \frac{1}{2}(T_1 + T_2) L \, . \, x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (152).$$

Чтобы удобнѣе обращаться съ выведенными формулами можно пользоваться данной выше таблицей косогорныхъ коэффиціентовъ (ф) и (Θ); (см. таблицу косогорныхъ коэффиціентовъ стр. 120 и 121).

IV. ОПРЕДѢЛЕНІЕ MINIMUM'А СТОИМОСТИ ЗЕМЛЯНЫХЪ РАБОТЪ, ИСКУССТВЕННЫХЪ СООРУЖЕНІЙ И ОТЧУЖДЕНІЯ. ПРИМѢРЫ.

Переходя къ настоящему отдѣлу скажемъ предварительно нѣсколько словъ относительно земляной кубатуры и добавочнаго отчужденія.

Если (какъ это бываетъ большею частью), значеніе величины (x), обусловливающей minimum стоимости работъ, таково, что количество выемокъ (V_x) превышаетъ количество насыпи (N_x) на ($\triangle V_x$) кубовъ, то есть:

$$\triangle V_x = (V_x - N_x),$$

то можно положить (для извѣстныхъ участковъ), что изъ общаго количества земляныхъ работъ будетъ:

$2\,N_x$ кб. саж. двойныхъ (транспортныхъ) работъ,

и $(V_x - N_x) = \triangle V_x$ куб. саж., сваливаемыхъ въ кавальеры, при чемъ цѣна за кубъ можетъ быть принята (на кругъ) въ рубляхъ:

z_1 для $2\,N_x$ кубовъ,

и

z_2—для $(V_x - N_x)$ кубовъ.

Кромѣ того, при извѣстной цѣнности отчуждаемой полосы, слѣдовало бы съ нѣкоторымъ приближеніемъ опредѣлить добавочную площадь подъ кавальеры; напримѣръ, въ предположеніи, что эти послѣдніе складываются не ближе 4 саж. отъ крайней бровки выемки, притомъ съ одной или съ обѣихъ сторонъ пути, необходимо задаться нѣкоторой средней высотой (R) кавальера, сложеннаго равновеликимъ параллелепипедомъ на протяженіи, включающемъ и нейтральную полосу въ 4 саж. съ каждой стороны; вообразивъ подобное расположеніе, найдемъ искомую площадь (P_x) изъ равенства:

$$P_x = \frac{(V_x - N_x)}{R} \text{ кв. саж.}$$

Впрочемъ, съ нѣкоторымъ же приближеніемъ, можно за счетъ стоимости добавочнаго отчужденія увеличить единичную цѣну (z_2) съ куба поперечной возки.

Представивъ въ общемъ видѣ выраженія количествъ различныхъ работъ будемъ имѣть:

A. Земляныя работы.

Насыпь:

$$N_x = N + N_1 x + N_2 x^2 + N_3 x^3 \quad \ldots \quad (153);$$

Выемка:

$$V_x = V - V_1 x + V_2 x^2 - V_3 x^3 \quad \ldots \quad (154).$$

B. Подпорныя стѣны.

Въ насыпяхъ:

$$S^n_x = S^n + S_1^n x + S_2^n x^2; \quad \ldots \quad (155).$$

Въ выемкахъ:

$$S^v_x = S^v - S_1^v x + S_2^v x^2 \quad \ldots \quad (156).$$

C. Мосты.

$$M_x = M + M_1 x + M_2 x^2 \quad \ldots \quad (157)$$

Д. Трубы.

$$T_x = T + T_1 x \quad \ldots \quad (158)$$

E. Отчужденіе.

$$Q_x = Q + Q_1 x \text{ }^{1)} \quad \ldots \quad (159)$$

Положивъ стоимость одной единицы:

Земляныхъ работъ	z [2])	руб.
Кладки подпорныхъ стѣнъ	s [3])	»
» мостовъ	m	»
» трубъ	t [4])	»
Площади отчужденія	q	»,

найдемъ общую стоимость K_x сооруженій, а именно:

$$K_x = (N_x + V_x).z + (S_x{}^n + S_x{}^v).s + M_x.m + T_x.t + Q_x.q, \text{ }^{5)} \quad \ldots \quad (160)$$

или

$$K_x = [(N + V) + (N_1 - V_1)x + (N_2 + V_2)x^2 + (N_3 - V_3)x^3]z + [(S^n + S^v) + (S_1{}^n - S_1{}^v)x + (S_2{}^n + S_2{}^v)x^2].s + (M + M_1 x + M_2 x^2).m + (T + T_1 x)t + (Q + Q_1 x)q; \quad (161')$$

[1]) Или съ добавочной площадью подъ кавальеры: $Q_x = Q + Q_1 x + \frac{(V_x - N_x)}{R}$.

[2]) Или z_1 для двойныхъ работъ, и z_2 для одиночныхъ; нерѣдко для выемокъ и насыпей также слѣдуетъ вводить различныя цѣны.

[3]) Полагая кладку частью сухую, частью на растворѣ, необходимо вводить разныя цѣны s_1 и s_2.

[4]) Въ частномъ случаѣ $s = m = t$.

[5]) Въ частныхъ случаяхъ нѣкоторые члены могутъ быть равны нулю.

Располагая же выраженіе по степенямъ (x), получимъ:

$$K_x = [(N+V)z + (S^n + S^v)s + M.m + T.t + Q.q] + [(N_1 - V_1)z + (S_1^n - S_1^v)s +$$
$$+ M_1.m + T_1.t + Q_1.q].x + [(N_2 - V_2)z + (S_2^n + S_2^v)s + M_2m]x^2 +$$
$$(N_3 - V_3)z.x^3, \quad \ldots\ldots \quad (161)$$

или:

$$K_x = K_1 + K_2x + K_3x^2 + K_4x^3 \quad \ldots\ldots \quad (162).$$

Чтобы опредѣлить, при какомъ значеніи (x) сумма (K_x) обращается въ minimum, приравниваемъ нулю первую производную выраженія (162) и рѣшаемъ полученное уравненіе:

$$(K_x)' = K_2 + 2K_3.x + 3K_4.x^2 = 0 \quad \ldots\ldots \quad (163).$$

Вторая производная, или ($2K_3 + 6K_4x$) при всякомъ возможномъ (x) обыкновенно $>$ нуля, почему замѣчаемъ, что выраженіе (162) дѣйствительно имѣетъ minimum.

Изъ уравненія (163) явствуетъ, что приступая къ отысканію minimum'a нѣтъ надобности въ подсчетѣ начальнаго значенія кубатуръ N, V, S^n, S^v, M, T и площади Q; кромѣ того излишними для подобнаго расчета оказываются всѣ тѣ постоянные члены, которые служили намъ для исправленія частныхъ выраженій (см. § 4 отдѣла II).

Однако все-же гораздо удобнѣе имѣть въ распоряженіи указанные свободные члены; это даетъ возможность, во 1) сейчасъ же подстановкой въ формулы найти, съ какими количествами работъ будемъ имѣть дѣло при томъ или иномъ (x); 2) выбрать (x) нѣсколько отличное отъ опредѣленнаго по уравненію (163), что должно служить къ удовлетворенію спеціальныхъ для данной мѣстности требованій, и 3) опредѣлить въ % экономію, полученную перепроектировкой.

Приведемъ здѣсь нѣсколько примѣровъ.

№ 1. [1]). Пусть данъ продольный профиль (фиг. 10), и проектированныя на немъ три трубы отверстіемъ въ b = 2,00; 1,00 и 1,00 саж.; высота стѣнъ ихъ, положимъ, равна соотвѣтственно: H = 1,50; 1,35 и 1,35 саж.

Выраженія объемовъ насыпи и выемки въ функціи отъ (x) получены были уже ранѣе (см. примѣръ I, и фиг. 10), а именно:

1) Объемъ насыпи

$$N_x = 6541{,}72 + 2598{,}43\,x + 356{,}33\,x^2 + 15{,}83\,x^3.$$

Такъ какъ проектируются трубы, то изъ даннаго количества необходимо выключить соотвѣтствующій имъ объемъ земли.

Обращаясь къ формуламъ (138 bis) и (133) найдемъ слѣдующія величины объемовъ:

1-ая труба.

$$L_z^x = L_z + 3x = 3\left[(h + 0{,}87) - \frac{\left(H + \frac{b}{2} + c\right)}{2}\right] + 3x,$$

---

1) Въ настоящемъ примѣрѣ предположены полуторные откосы при ровной мѣстности.

или

$$L_z^x = 3\left[8,87 - \frac{2,80}{2}\right] + 3x = 22,41 + 3x;$$

$$\Omega_z = \omega_b + (1,80\,H - 0,06h - 0,95) = 8,95\text{ [1])} + 2,70 - 0,48 - 0,95 =$$
$$= 10,22 \text{ кв. с.}$$

и объемъ

$$V_z^x = L_z^x \,.\, \Omega_z = 229,03 + 30,66\,x.$$

2-ая труба:

$$L_z^x = \left[h + 0,87 - \frac{H + \frac{b}{2} + c}{2}\right](3,00) + 3x = 23,40 + 3x;$$

$$\Omega_z = 5,14 + 1,08 - 0,40 - 1,20 = 4,62 \text{ кв. с.}$$

и

$$V_z^x = 108,11 + 13,86\,x.$$

3-я труба:

$$L_z^x = 14,40 + 3\,x;$$

$$\Omega_z = 4,77 \text{ кв. с.}$$

и

$$V_z^x = 68,69 + 14,31\,x.$$

Сумма всѣхъ вычетовъ равна:

$$\Sigma V_z^x = (229,03 + 30,66\,x) + (108,11 + 13,86\,x) + (68,69 + 14,31\,x),$$

или

$$\Sigma V_z^x = 405,83 + 58,83\,x \text{ кб. с.}$$

и, слѣдовательно, исправленный объемъ насыпи будетъ равенъ:

$$N_x = 6135,89 + 2539,60\,x + 356,33\,x^2 + 15,83\,x^3.$$

Объемъ выемки найденъ былъ, также, равнымъ:

$$V_x = 3284,17 - 1785,52\,x + 298,14\,x^2 - 14,58\,x^3;$$

общее количество земляныхъ работъ выразится равенствомъ:

$$(N_x + V_x) = 9420,06 + 754,08\,x + 654,47\,x^2 + 1,25\,x^3.$$

Объемъ кладки трубъ найдемъ съ помощью таблицы № 9, опредѣливъ предварительно длины трубъ L_1^x, L_2^x и L_3^x по формулѣ (105) [2]), а именно:

$$L_1^x = 3\left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] + 2,60 + 3\,x,$$

[1]) По таблицѣ № 9.

[2]) Другая формула не примѣняется, ибо откосы, какъ предположено, только полуторные.

или

$$L_1^x = 3\,[8-(1{,}50+1{,}00+0{,}30)]+2{,}60+3\,x = 18{,}20+3{,}00\,x;$$

$$L_2^x = 3\,[8-(1{,}35+0{,}50+0{,}30)]+2{,}60+3\,x = 20{,}15+3\,x;$$

$$L_3^x = 3\,[5-(1{,}35+0{,}50+0{,}30)]+2{,}60+3\,x = 11{,}15+3\,x.$$

Слѣдовательно объемъ кладки (по таблицѣ № 9):

$$V_1^x = (18{,}20+3\,x)\,.\,(8{,}95)+25{,}69 = 188{,}58+26{,}85\,x \text{ кб. с.};$$

$$V_2^x = (20{,}15+3\,x)\,.\,(5{,}14)+12{,}00 = 115{,}57+15{,}42\,x \text{ кб. с.}$$

$$V_3^x = (11{,}15+3\,x)\,.\,(5{,}14)+12{,}00 = 69{,}31+15{,}42\,x \text{ кб. с.},$$

а всего:

$$\Sigma V_t^x = 373{,}46+57{,}69\,x \text{ куб. саженъ.}$$

Положивъ стоимость 1 куб. саж. земл. работъ = 3 руб.
а » » » » кладки =200 »
найдемъ, при какомъ (x) расходы будутъ минимальные.

Взявъ первую производную выраженія:

$$3\,(N_x+V_x)+200\,\Sigma V_t^x = 3\,(9420{,}06+754{,}08\,x+654{,}47\,x^2+1{,}25\,x^3)+$$
$$+200\,(373{,}46+57{,}69\,x),$$

и приравнивая ее нулю, получаемъ уравненіе:

$$3\,(3{,}75\,x^2+1308{,}94\,x+754{,}08)+200\,(57{,}69)=0,$$

или

$$3{,}75\,x^2+1308{,}94\,x+4600{,}08=0;$$

рѣшимъ это уравненіе методомъ Ньютона (см. от. I, 4):

$$\text{Первый корень } x_1 = -\frac{4600{,}08}{1308{,}94} = \infty - 3{,}50;$$

второй, болѣе точный, на которомъ и остановимся, будетъ:

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)} = -3{,}50 - \frac{64{,}73}{1282{,}69} = -3{,}55 \text{ саж.}$$

Подсчитывая сумму экономіи при перепроектировкѣ на $x = -3{,}50$ с. найдемъ слѣдующія цифры. Стоимость работъ при первоначальномъ положеніи проекта равна:

$$3\,(9420{,}06)+200\,(373{,}46) = 102952{,}18 \text{ рубл.}$$

при новомъ же:

$$3\,[9420{,}06+754{,}08\,(-3{,}50)+654{,}47\,(12{,}25)+1{,}25\,(-42{,}875)]+200\,[373{,}46+$$
$$+57{,}69\,(-3{,}50)] = 78542{,}32 \text{ руб.}$$

Слѣдовательно, сокращеніе расходовъ на взятой верстѣ равно

$$102952{,}18 - 78542{,}32 = 24409{,}86 \text{ рубл.!}$$

Однако, если необходимо на третьей насыпи устройство именно трубы, то нельзя опускать проектъ ниже предѣльной высоты насыпи для третьей трубы (см. фиг. 10), высота же эта по таблицѣ № 7 равна 2,61 саж.; округляя эту цифру до 3 саж. можемъ; слѣдовательно, предѣломъ (x) назначить $x = -2{,}00$ саж. [1]).

[1]) Здѣсь, какъ и въ дальнѣйшихъ примѣрахъ, предполагаемъ, что различныя мѣстныя условія не препятствуютъ найденному расчетомъ положенію проектной линіи.

при такомъ проектѣ стоимость устройства равна

$$(28260{,}18 - 4524{,}48 + 7853{,}64 - 30{,}00) + 200\,(373{,}46 - 115{,}38) = 83175{,}34 \text{ р.}$$

Такимъ образомъ, въ этомъ случаѣ оказывается экономіи на взятой верстѣ:

$$102952{,}18 - 83175{,}34 = 19776{,}84 \text{ руб.}$$

Еслибы мы взяли $x = -0{,}75$, при которомъ наступаетъ транспортность земляныхъ работъ, то величина экономіи въ расходахъ выразилась бы цифрой 9247 руб.

Попробуемъ теперь включить въ разсчетъ стоимость отчужденія земли, причемъ положимъ, что часть выемокъ $(V_x - N_x)$ складывается въ кавальеры, которые требуютъ добавочной площади въ $0{,}70\,(V_x - N_x)$ кв. с.

Пользуясь выраженіями (150_n) и (150_v) можно полагать, что съ повышеніемъ проектной линіи на (x) величина отчужденія выразится:

вдоль насыпей:

$$Q_x^n = Q^n + 3\Sigma L^n \,.\, x,$$

гдѣ ΣL^n — общее протяженіе насыпей, равное (см. примѣръ I):

$$\Sigma L_n = 210 \text{ саж};$$

и вдоль выемокъ:

$$Q_x^v = Q^v - 3\Sigma L^v\, x,$$

гдѣ

$$\Sigma L^v = 155 \text{ саж.};$$

слѣдовательно

$$Q_x^n = Q^n + 630\, x$$

и

$$Q_x^v = Q^v - 465\, x;$$

Присоединяя сюда площадь $0{,}7\,(V_x - N_x)$, или

$$0{,}7\,(-2851{,}72 - 4325{,}12\,x - 58{,}19\,x^2 - 30{,}41\,x^3) =$$
$$= -1996{,}20 - 3027{,}58\,x - 40{,}73\,x^2 - 21{,}29\,x^3,$$

получимъ общую площадь отчужденія:

$$(Q^n + Q^v - 1996{,}20) - 2862{,}58\,x - 40{,}73\,x^2 - 21{,}29\,x^3 \text{ кв. саж.}$$

Полагая стоимость 1 кв. саж.—0,20 рубл. напишемъ выраженіе общей стоимости:

$$3\,(9420{,}06 + 754{,}08\,x + 654{,}47\,x^2 + 1{,}25\,x^3) + 200\,(373{,}46 + 57{,}69\,x) +$$
$$+ 0{,}20\,(Q^n + Q^v - 1996{,}20 - 2862{,}58\,x - 40{,}73\,x^2 - 21{,}29\,x^3);$$

приравнивая нулю первую производную и рѣшая уравненіе

$$-0{,}50\,x^2 + 1303{,}51\,x + 4409{,}24 = 0,$$

найдемъ

$$x = \infty - 3{,}40 \text{ саж.}$$

Какъ видимъ, и въ данномъ случаѣ выгодно понизить проектъ на 2 сажени.

Какъ новый варіантъ, предположимъ, что проектируемая линія проходитъ въ мѣстности съ сравнительно дорогимъ отчужденіемъ и земляными работами; н. п., пусть стоимость 1 кб. саж. земляныхъ работъ = 5 руб., а стоимость 1 кв. саж. отчужденія—тоже 5 руб. (стоимость кладки остается та-же).

При этихъ условіяхъ уравненіе первой производной будетъ:

$$-60{,}03\,x^2 + 1227{,}48\,x + 199{,}10 = 0,$$

и

$$x \infty = -0{,}16 \text{ саж.}$$

Сокращеніе расходовъ, слѣдовательно, будетъ незначительное, всего —80,00 р., поэтому слѣдуетъ считать начальное положеніе проектной линіи совершенно удовлетворительнымъ.

№ 2. Возьмемъ теперь профиль вышеприведеннаго примѣра II, гдѣ положимъ на первой насыпи при $h = 9$ саж. (фиг. 11), трубу въ 2 саж. со стѣнками $H = 1{,}50$ с., на второй же, при $h = 6$ саж. — трубу отверстіемъ $b = 1{,}00$ с. съ $H = 1{,}35$ с. Остальныя условія, какъ—откосы и пр. полагаемъ тѣ же, что и въ примѣрѣ II.

Какъ уже найдено было, объемъ насыпи равенъ:

$$N^x = 8085{,}60 + 3213{,}44\,x + 451{,}71\,x^2 + 24{,}17\,x^3;$$

исключаемъ отсюда объемъ земли, занятый трубами, а именно:

1-я труба:

$$L_z^x = 3{,}50\left[(h + 0{,}31) - \frac{H + \frac{b}{2} + c}{2}\right] + 3{,}50\,x,$$

или

$$L_z^x = 27{,}69 + 3{,}50\,x;$$

$$\Omega_z = 14{,}23 \text{ кв. саж.}^{1)}.$$

и

$$V_z^x = 394{,}03 + 49{,}81\,x.$$

2-я труба:

$$L_z^x = 18{,}30 + 3{,}50\,x;$$

$$\Omega_z = 6{,}06 \text{ кв. с.}$$

и

$$V_z^x = 110{,}90 + 21{,}21\,x.$$

Сумма объемовъ, подлежащая вычету равна:

$$\Sigma V_z^x = 504{,}93 + 71{,}02\,x \text{ кб. саж.}$$

и слѣдовательно исправленный объемъ насыпи будетъ:

$$N_x = 7580{,}67 + 3142{,}42\,x + 451{,}71\,x^2 + 24{,}17\,x^3.$$

Объемъ же выемки равенъ (см. примѣръ II):

$$V_x = 4440{,}31 - 2818{,}41\,x + 613{,}55\,x^2 - 42{,}87\,x^3.$$

---

1) Въ слѣдующихъ примѣрахъ цифры, выражающія (Ω_z) случайно взяты нѣсколько отличные отъ истинныхъ, получаемыхъ изъ формулъ (133), что, впрочемъ, не оказываетъ на результатъ и ходъ расчета никакого вліянія.

Общее количество работъ равно:

$$N_x + V_x = 12020,98 + 324,01\,x + 1065,26\,x^2 - 18,70\,x^3.$$

Объемъ кладки трубъ будетъ:

1-ой трубы:

длина

$$L_v^x = 3,50\left[h - \left(H + \frac{b}{2} + c + 3\right)\right] + 11,60 + 3,50\,x,$$

или

$$L_v^x = 22,80 \text{ саж.} + 3,50\,x;$$

площадь сѣченія

$$\omega = 8,95 \text{ кв. с. (см. таблицу 9).}$$

объемъ входа и выхода

$$V_b = 25,69 \text{ кб. с.;}$$

поэтому объемъ кладки выразится (по формулѣ 110):

$$V_t^x = (L_v + 3,50\,x)\,\omega + V_b = 232,03 + 31,33\,x \text{ кб. саж.}$$

2-ой трубы:

$$L_v^x = 3,50\left[6 - \left(1,35 + 0,50 + 0,30 + 3,00\right)\right] + 11,60 + 3,50\,x,$$

или

$$L_v^x = 14,58 \text{ саж.}, + 3,50\,x;$$

площадь сѣченія

$$\omega = 5,14 \text{ кв. с.}$$

объемъ входа и выхода

$$V_b = 12,00 \text{ кб. с.}$$

и объемъ кладки

$$V_t^x = 86,94 + 17,99\,x \text{ кб. с.}$$

Всего кладки, слѣдовательно:

$$\Sigma V_t^x = 318,97 + 49,32\,x \text{ куб. саж.}$$

Площадь отчужденія найдемъ изъ выраженій:

1) вдоль насыпей:

$$Q_k^x + Q_n^x = Q^x + 3,5\Sigma L_x\,x + Q_n + 3\Sigma L_n\,x = (Q_x + Q_n) + 800\,x;$$

2) вдоль выемокъ:

$$Q_v^x = Q_v - 3\Sigma L_v\,x = Q_v - 840,81\,x\ ^*).$$

---

*) Въ данномъ случаѣ считаемъ излишней особую точность въ опредѣленіи выраженій площадей; если же таковая потребуется, то необходимо имѣть въ виду, что съ перемѣной положенія проектной линіи измѣняются общія протяженія Q_x, Q_n въ насыпяхъ, а также въ заносимыхъ и незаносимыхъ выемкахъ; при этомъ исправленіе выраженій въ частныхъ случаяхъ производится согласно правиламъ, изложеннымъ въ отдѣлѣ II, 4.

Кромѣ этого, примемъ площадь подъ кавальеры равной:

$$Q^x = 0{,}70\,(V_x - N_x),$$

т. е.:

$$Q_k^x = -2198{,}25 - 4172{,}58\,x + 113{,}29\,x^2 - 46{,}93\,x^3.$$

Вся площадь, слѣдовательно, напишется въ видѣ:

$$\Sigma Q^x = (Q_к + Q_n + Q_v - 2198{,}25) - 4213{,}39\,x + 113{,}29\,x^2 - 46{,}93\,x^3.$$

Полагая цѣны:

$z = 4$ руб. за кубъ.
$k = 200$ » » »
$q = 0{,}20$ » » кв. саж.,

находимъ выраженіе стоимости работъ:

$$K_x = 4\,[12020{,}98 + 324{,}01\,x + 1065{,}26\,x^2 - 18{,}70\,x^3] + 200\,(318{,}97 + 49{,}32\,x) + \\ + 0{,}20\,[Q_n + Q_к + Q_v - 2198{,}25 - 4213{,}39\,x + 113{,}29\,x^2 - 46{,}93\,x^3];$$

Поступая по общему правилу получимъ уравненіе:

$$10317{,}36 + 8567{,}40\,x - 252{,}56\,x^2 = 0,$$

рѣшивъ которое будемъ имѣть:

$$x_1 = -\frac{10317{,}36}{8567{,}40} = \infty - 1{,}20,$$

и

$$x_2 = -1{,}20 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)} = -1{,}20 + (0{,}03 - 0{,}04) = \infty - (1{,}17 - 1{,}16).$$

Принимая $x = -1{,}10$, найдемъ, какая можетъ быть при этомъ значеніи экономія въ расходахъ, для чего сдѣлаемъ подстановку въ выраженіе приращенія K_x, откуда получимъ:

$$\triangle K_x = 4\,(-356{,}41 + 1288{,}97 + 24{,}87) + 200\,(-54{,}25) + \\ + 0{,}20\,(4634{,}73 + 137{,}08 + 62{,}42);$$

или:

$$\triangle K_x = 3829{,}72 - 10850{,}00 + 966{,}85 = -6053{,}43 \text{ рубл.}$$

на взятой верстѣ.

Однако значеніе $x = -1{,}10$ таково, что не согласуется съ правильностью взятой формулы при подсчетѣ длины второй трубы; дѣйствительно, мы приняли формулу (108), тогда какъ новая насыпь $(6-1{,}10) = 4{,}90$ саж. согласуется только съ формулой (105), въ чемъ легко убѣдиться по извѣстному намъ признаку (111), по которому:

$$[4{,}90 - (1{,}35 + 0{,}50 + 0{,}30)] < 3 \text{ саж.}$$

Имѣя это въ виду слѣдуетъ внести въ нашъ расчетъ поправку, поступая согласно правилу, изложенному въ отд. II, 4.

Такъ какъ при опредѣленіи minimum'а всѣ свободные члены игнорируются, то нѣтъ надобности въ опредѣленіи постоянной разности (r), и достаточно лишь въ выраженіи $(L_{к}^x)$ замѣнить $(3{,}50\,x)$ на $(3{,}00\,x)$, исправивъ соотвѣтственно въ выраженіи объема членъ $17{,}99\,x$ — на $15{,}42\,x$, а въ общемъ количествѣ кладки $49{,}32\,x$ на $46{,}75\,x$.

Однако, желая знать при любомъ (x) не только величину приращенія, но и полное количество кладки, найдемъ (r).

Слѣдуя правилу, выберемъ $h_s = 4$ саж.; тогда уменьшаемое равно:

$$3\,[4 - (1{,}35 + 0{,}50 + 0{,}30)] + 2{,}60 = 8{,}15 \text{ саж.};$$

сумма же двухъ членовъ вычитаемаго есть:

$$14{,}58 + 3\,(h_s - h_t) = 14{,}58 - 6 = 8{,}58 \text{ с.},$$

слѣдовательно

$$r = 8{,}15 - 8{,}58 = -0{,}43 \text{ саж.}$$

Сдѣлавъ указанное исправленіе въ выраженіи K_x и первой производной получимъ исправленное уравненіе:

$$9803{,}36 + 8567{,}40\,x - 252{,}56\,x^2 = 0,$$

откуда

$$x_1 = -1{,}14;\; x_2 = -1{,}14 - \frac{-291{,}81}{9143{,}24} = -1{,}14 + 0{,}03 = -1{,}11.$$

Оставляя тотъ-же корень $x = -1{,}10$ можемъ опредѣлить сумму экономіи болѣе точно, замѣнивъ въ конечномъ подсчетѣ ея членъ 200 (— 54,25) на 200 [— 51,86 *)]; экономія эта окончательно равна **5575,43 руб.**

Если возьмемъ $x = -0{,}60$, при которомъ наступаетъ транспортность работъ, то начальныя выраженія не потребуютъ поправокъ и экономія выразится суммой:

$$772{,}48 + 515{,}79 - 5918{,}00 = -\mathbf{4629{,}73} \text{ руб.}$$

Сдѣлаемъ теперь вычисленіе въ предположеніи, что на второй насыпи проектируется мостъ отверстіемъ 20 саж. съ ѣздою по низу, при чемъ допустимъ, что лицевыя грани устоевъ располагаются въ равныхъ разстояніяхъ отъ средней ординаты насыпи въ 6 саж., имѣя высоту 5 саж. **). Исправляя общее выраженіе объема насыпей слѣдуетъ выключить изъ него:

1) объемъ занятый трубою и равный, какъ найдено

$$V_z^x = 394{,}03 + 49{,}81\,x \text{ куб. с.}$$

2) объемъ на мѣстѣ моста; этотъ послѣдній можетъ быть подсчитанъ какъ насыпь при слѣдующихъ разстояніяхъ и отмѣткахъ:

отм. H = 0; 3; 5; 6; 5; 3 и 0

разст. L = 3, 2, 10, 10, 2 и 3 саж.,

а потому выразится количествомъ:

$$W_z^x = 846{,}04 + 509{,}86\,x + 53{,}60\,x^2 + x^3 \text{ куб. саж.}$$

Исправленное значеніе N_x будетъ, слѣдовательно, равно:

$$N_x = 6845{,}53 + 2653{,}77\,x + 398{,}11\,x^2 + 23{,}17\,x^3.$$

Такъ какъ для выемки остается прежнее выраженіе, то сумма объемовъ представится въ видѣ:

$$N_x + V_x = (N + V) - 164{,}64\,x + 1011{,}66\,x^2 - 19{,}70\,x^3 \text{ куб. с.}$$

*) $46{,}75\,x + r = 46{,}75\,x - 0{,}43 = -51{,}43 - 0{,}43 = -51{,}86.$

**) Слѣдовательно и высота насыпи для моста H = 5 саж.

Объемъ кладки трубы мы имѣли уже равнымъ $V_t^x = 232{,}03 + 31{,}33\ x$ куб. саж.; что-же касается объема кладки моста, то таковой найдется съ помощью эмпирической формулы, приведенной выше для мостовъ съ ѣздою по низу при высотѣ насыпи $H = 5$ саж. и отверстіи моста 20 саж., а именно:

$$V_m = 0{,}10 + 7{,}70\ H + 4{,}60\ H^2 = 385{,}13 \text{ куб. с.}$$

Для насыпи $(H + x)$ будемъ имѣть выраженіе:

$$V_m^x = 385{,}13 + 85{,}03\ x + 4{,}60\ x^2,$$

а всего, слѣдовательно, кладки будетъ:

$$V_t^x + V_m^x = 617{,}16 + 116{,}36\ x + 4{,}60\ x^2 \text{ куб. саж.}$$

Для площади отчужденія воспользуемся найденными выше выраженіями:

$$\text{для насыпи} \cdots Q^x = Q + 800\ x \text{ кв. саж.}$$

$$\text{а для выемки} \cdots Q^x = Q - 840{,}81\ x \text{ кв. саж.}$$

что дастъ въ общемъ:

$$\Sigma Q^x = \Sigma Q - 40{,}81\ x \text{ кв. саж.}$$

Оставляя прежнія цѣны находимъ слѣдующее общее выраженіе стоимости сооруженій:

$$K_x = 4\ (N + V - 164{,}64\ x + 1011{,}66\ x^2 - 19{,}70\ x^3) + 200\ (617{,}16 + 116{,}36\ x + \\ + 4{,}60\ x^2) + 0{,}20\ \ (\Sigma Q - 40{,}81\ x);$$

отсюда вытекаетъ уравненіе 1-й производной:

$$59{,}10\ x^2 - 2483{,}32\ x - 5651{,}32 = 0,$$

рѣшая которое получимъ

$$x = \infty - 2{,}15 \text{ с.}$$

Понижая согласно рѣшенію проектъ, оказывается возможнымъ сберечь значительную сумму, а именно:

$$(1415{,}90 + 18695{,}47 + 783{,}27) - 51198{,}40 + 4250{,}40 + 17{,}96 = - 26035{,}40 \text{ рублей.}$$

№ 3. Возьмемъ случай косогоровъ, разсмотрѣнный нами въ отдѣлѣ земляныхъ работъ *), (примѣръ III), при чемъ положимъ, что при отмѣткахъ насыпи $h = 8$; 8 и 5 саж. (фиг. 12), проектированы трубы отверстіемъ $b = 2$; 1,00 и 1,00 саж. при соотвѣтственной высотѣ стѣнокъ $H = 1{,}50$; 1,35 и 1,35 с.

Количество земляныхъ работъ опредѣлено было ранѣе и равно:
насыпи

$$N_x = 6582{,}90 + 2745{,}05\ x + 392{,}26\ x^2 + 17{,}76\ x^3.$$

Выключая отсюда объемъ, соотвѣтствующій трубамъ, примемъ во вниманіе, что уклонъ косогора подъ 1-ой трубой равенъ $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}20$; подъ второй — $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}18$ и подъ 3-ей — $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}30$ **).

---

*) Въ означенномъ примѣрѣ откосы приняты постоянной величины, равной 1 : 1,50.
**) См. примѣръ III.

Объемъ земли соотвѣтствующій первой трубѣ при длинѣ его (см. формулы 136 bis и 138 bis):

$$L_z^x = \left[\left(h + c_n\right) - \frac{(H + \frac{b}{2} + c)}{2}\right] . \phi + \phi\ x,$$

гдѣ

$$\phi = \left[\frac{1}{(\operatorname{tg} i - \operatorname{tg} \alpha)} + \frac{1}{(\operatorname{tg} i + \operatorname{tg} \alpha)}\right] = 3{,}299 = \infty\ 3{,}30 \text{ (табл. 10)}$$

т. е.

$$L_z^x = [8{,}87 - 1{,}40] . (3{,}30) + 3{,}30\ x = 24{,}65 + 3{,}30\ x,$$

и поперечномъ сѣченіи

$$\Omega_z = 14{,}23 \text{ кв. с.}$$

равенъ

$$V_z^x = (24{,}65 + 3{,}30\ x) . (14{,}23) = 345{,}10 + 46{,}96\ x.$$

Слѣдующій вычетъ равенъ:

$$V_z^x = [(8{,}87 - 1{,}07)\ 3{,}24 + 3{,}24\ x] . 6{,}06 = 153{,}14 + 19{,}63\ x,$$

и третій:

$$V_z^x = [(5{,}87 - 1{,}07) . 3{,}76 + 3{,}76\ x] . 6{,}06 = 109{,}38 + 22.79\ x.$$

Сумма всѣхъ вычетовъ равна:

$$\Sigma V_x^z = 607{,}62 + 89{,}38\ x,$$

и слѣдовательно исправленный объемъ насыпи будетъ равенъ:

$$N_x = 5975.28 + 2655{,}67\ x + 392{,}26\ x^2 + 17{,}76\ x^3.$$

Объемъ выемки имѣли уже:

$$V_x = 8966{,}90 - 3748{,}50\ x + 508{,}68\ x^2 - 21.68\ x^3.$$

Общая кубатура равна:

$$N_x + V_x = 14942{,}18 - 1092{,}83\ x + 900{,}94\ x^2 - 3{,}92\ x^3.$$

Опредѣлимъ теперь объемъ кладки трубъ.

1-ая труба:

$$L_n^x = \left[\left(h + c_n\right) - \left(H + \frac{b}{2} + c\right)\right] . \phi + \phi\, x = (6{,}07)\ 3{,}30 + 3{,}30\ x,$$

или

$$L_n^x = 20{,}03 + 3{,}30\ x;$$

$$\omega_b = 8{,}95 \text{ и } V_b = 25{,}69,$$

слѣдовательно объемъ равенъ:

$$V_n^x = 204{,}96 + 29{,}54\ x \text{ куб. саж.}$$

2-я труба:

$$L_n^x = 21{,}77 + 3{,}24\ x;\ \omega_b = 5{,}14 \text{ и } V_b = 12{,}00 \text{ кб. с.;}$$

объемъ

$$V_n^x = (21{,}77 + 3{,}24\ x) . 5{,}14 + 12{,}00 = 123{,}90 + 16{,}65\ x;$$

3-ья труба

$$L_n^x = 13{,}99 + 3{,}76\ x;\ \omega_b = 5{,}14 \text{ кв. с. и } V_b = 12{,}00 \text{ кб. с.}$$

и объемъ

$$V_n^x = (13{,}99 + 3{,}76\ x) . 5{,}14 + 12{,}00 = 83{,}91 + 19{,}33\ x.$$

Всего кладки

$$\Sigma V_n^x = 412{,}77 + 65{,}52\ x \text{ куб. саж.}$$

Площадь отчужденія, согласно выраженію ($149_п$) будетъ:

1) вдоль насыпи:

$$Q_n^x = Q_n + \frac{1}{2} \Sigma L \cdot (\phi_1 + \phi_2)^{*)} = Q_n + x\,[(20 \cdot 3{,}18 + 10 \cdot 3{,}13 + 20 \cdot 3{,}24 + 20 \cdot 3{,}53) + (10 \cdot 3{,}18 + 20 \cdot 3{,}09 + 20 \cdot 3{,}17 + 10 \cdot 3{,}27 + 10 \cdot 3{,}53) + (10 \cdot 4{,}69 + 10 \cdot 4{,}23 + 10 \cdot 3{,}76 + 10 \cdot 3{,}76 + 10 \cdot 3{,}76)] = Q_n + 657{,}30\,x;$$

2) вдоль выемки:

$$Q_v^x = Q_v - x\,[(20 \cdot 4{,}23 + 10 \cdot 4{,}23 + 20 \cdot 3{,}76 + 10 \cdot 3{,}53 + 10 \cdot 3{,}30) + (10 \cdot 4{,}23 + 10 \cdot 4{,}69 + 10 \cdot 4{,}11 + 20 \cdot 3{,}42) + (20 \cdot 4{,}23 + 30 \cdot 5{,}77 + 20 \cdot 5{,}77)],$$

или

$$Q_v^x = Q_v - 842{,}20\,x.$$

Площадь подъ кавальеры примемъ равной:

$$Q_k^x = 0{,}70\,(V_x - N_x) = 2094{,}13 - 4482{,}92\,x + 81{,}49\,x^2 - 27{,}61\,x^3.$$

Принимая цѣны:

$z = 4$ р. за кубъ;
$k = 200$ » »
и $q = 0{,}20$ р. за кв. саж.

составляемъ выраженіе:

$$K_x = 4\,(14942{,}18 - 1092{,}83\,x + 900{,}94\,x^2 - 3{,}92\,x^3) + 200\,(412{,}77 + 65{,}52\,x) + 0{,}20\,(Q_n + Q_v + 2094{,}13 - 4667{,}82\,x + 81{,}49\,x^2 - 27{,}61\,x^3)$$

и, приравнивая нулю первую производную, рѣшаемъ уравненіе

$$-63{,}61\,x^2 + 7240{,}12\,x + 7799{,}12 = 0,$$

рѣшая которое, находимъ:

$$x_1 = -1{,}08;\ x_2 = -1{,}08 + \frac{94{,}38}{7377{,}52} = \infty - 1{,}07.$$

Взявъ окончательно $x = -1{,}00$ и подставивъ это значеніе въ K_x найдемъ величину сокращенія расходовъ равной **4157,85 рубл.** на взятомъ участкѣ (около одной версты).

№ 4. Въ настоящемъ примѣрѣ разсмотримъ случай подсчета земляныхъ работъ по поперечнымъ профилямъ при наличности сухихъ подпорныхъ стѣнъ **) и двухъ трубъ отверстіемъ 2 и 1 саж. (фиг. 13); отмѣтки насыпи, соотвѣтствующія имъ, равны 7,00 и 6,00 саж., а высоты стѣнокъ $H = 1{,}50$ и $H = 1{,}35$ саж.

Найденное ранѣе количество насыпи выражается такъ:

$$N_x = 5877{,}00 + 2660{,}15\,x + 489{,}43\,x^2 + 41{,}94\,x^3;$$

исключаемъ отсюда объемы земли, вытѣсняемые трубами.

Первый изъ нихъ, при длинѣ

$$L_2^x = 14{,}60 + 2{,}30\,x\ ^{***)}$$

---

*) Величина L и уклоны берутся изъ примѣра III, а коэффиціенты ф—изъ таблицы № 10 по даннымъ $tg\,\alpha$.

**) См. выше примѣръ IV съ чертежами профилей.

***) См. соотвѣтственный поперечный профиль (примѣра IV). Величина 14,60 (между точками с и d) и 2,30 измѣрены по правилу, изложенному въ отдѣлѣ II, § 3 графически.

и поперечномъ сѣченіи

$$\Omega_z = 14{,}23 \text{ кв. саж.}$$

равенъ:

$$V_z^x = (14{,}60 + 2{,}30\,x) \,.\, 14{,}23 = 207{,}76 + 32{,}73\,x \text{ кб. саж.}$$

Второй объемъ при длинѣ

$$L_z^x = 17{,}40 + 3x$$

и сѣченіи

$$\Omega_z = 6{,}06 \text{ кв. саж.}$$

равенъ:

$$V_z^x = (17{,}40 + 3\,x) \,.\, 6{,}06 = 105{,}44 + 18{,}18\,x \text{ кб. с.}$$

Сумма ихъ равна

$$\Sigma V_z^x = 313{,}20 + 50{,}91\,x,$$

слѣдовательно исправленное количество насыпи будетъ:

$$N_x = 5563{,}80 + 2609{,}24\,x + 489{,}43\,x^2 + 41{,}94\,x^3.$$

Количество выемки, подсчитанное ранѣе:

$$V_x = 4278{,}90 - 2558{,}51\,x + 491{,}23\,x^2 - 43{,}71\,x^3$$

а всего работъ:

$$N_x + V_x = 9842{,}70 + 50{,}73\,x + 980{,}66\,x^2 - 1{,}77\,x^3.$$

Найдемъ теперь количество кладки трубъ.

Длина первой трубы равна:

$$L^x = 11{,}85\;{}^{*)} + 2{,}30\,x;$$

поперечное сѣченіе

$$\omega_b = 8{,}95 \text{ кв. с.}$$

объемъ входовъ

$$V_b = 25{,}69 \text{ кб. с.}$$

слѣдовательно объемъ кладки первой трубы будетъ:

$$V^x = (11{,}85 + 2{,}30\,x)\; 8{,}95 + 25{,}69 = 131{,}75 + 20{,}59\,x;$$

совершенно такъ же найдемъ и объемъ другой трубы

$$V^x = (14{,}10 + 3\,x) \,.\, 5{,}14 + 12{,}00 = 84{,}48 + 15{,}42\,x \text{ кб. саж.},$$

а въ общемъ будемъ имѣть кладки (на растворѣ):

$$\Sigma V^x = 216{,}23 + 36{,}01\,x \text{ куб. саж.}$$

Приращеніе площади отчужденія найдется графически съ помощью формулы 151, т. е.:

$$\triangle Q = \pm \frac{1}{2}(T_1 + T_2) \,.\, L \,.\, x. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (151).$$

Припоминая, что для графическаго опредѣленія приращенія площадей земляныхъ работъ нами найдены были величины (τ), измѣренныя при $kl = {}^1/_4$ сотки **), а также $\frac{1}{2}\,\Sigma l\,(\tau_1 + \tau_2)$; величины же (T) измѣряются подобно (τ), но при $kl = {}^1/_2$ сотки,— заключаемъ, что

---

*) См. поперечный профиль: измѣреніе между точками a и b.

**) См. отдѣлъ I, § 3; а также примѣръ IV.

$$\frac{T}{2} = \tau;$$

или

$$\frac{1}{2}(T_1 + T_2) = (\tau_1 + \tau_2),$$

а также

$$\frac{1}{2}\Sigma L \,.\, (T_1 + T_2) = 2\left[\frac{1}{2}\Sigma l \,.\, (\tau_1 + \tau_2)\right];$$

Слѣдовательно для вычисленія $\triangle Q_n$ и $\triangle Q_v$ достаточно взять двойную сумму полученныхъ уже ранѣе (въ примѣрѣ IV) величинъ

$$\frac{1}{2}\Sigma l \,.\, (\tau_1 + \tau_2);$$

Такимъ образомъ приращеніе отчужденія

вдоль насыпи:

$$\triangle Q_n = [(12{,}00 + 42{,}00 + 87{,}00 + 29{,}00 + 31{,}00 + 34{,}00 + 17{,}50 + 16{,}50 + 35{,}00 + 23{,}50 + 77{,}00 + 41{,}00 + 10{,}50) + (25{,}41 + 136{,}50 + 29{,}50 + 64{,}00 + 57{,}00 + 27{,}50 + 88{,}50 + 23{,}25)]\ x$$

или

$$\triangle Q_n = 907{,}15\ x$$

и

$$Q_n^x = Q_n + 907{,}15\ x;$$

вдоль выемки:

$$Q_v^x = Q_v - \triangle Q_v = Q_v - [(88{,}50 + 18{,}00 + 17{,}50 + 37{,}00 + 47{,}00 + 34{,}50 + 22{,}56) + (7{,}05 + 33{,}00 + 75{,}00 + 84{,}00 + 66{,}00 + 76{,}00 + 26{,}49) + (14{,}85 + 45{,}00 + 44{,}00 + 39{,}00 + 40{,}00 + 96{,}00)]\ x,$$

или

$$Q_v^x = Q_v - 1003{,}70\ x.$$

Приблизительная площадь подъ кавальеры пусть равна:

$$Q_k^x = 0{,}70(V_x - N_x) = 0{,}70\,(-1284{,}90 - 5167{,}75\ x + 1{,}80\ x^2 - 85{,}65\ x^3),$$

или

$$Q_k^x = -899{,}43 - 3617{,}43\ x + 1{,}26\ x^2 - 59{,}96\ x^3;$$

Слѣдовательно вся площадь отчужденія выразится равенствомъ:

$$\Sigma Q^x = (Q_n + Q_v - 899{,}43) - 3713{,}98\ x + 1{,}26\ x^2 - 59{,}96\ x^3 \text{ кв. саж.}$$

Найдемъ, наконецъ, кубатуру кладки подпорныхъ стѣнъ, для чего воспользуемся поперечными профилями ихъ (см. примѣръ IV, чертежи) и формулами приращенія объемовъ кладки (65) и (68).

Всѣ данныя для расчета, какъ и нѣкоторыя выкладки выпишемъ въ слѣдующей табличкѣ.

L	h	уклонъ	Типъ № 1.			Типъ № 2.		Типъ № 1.		Типъ № 2.		$\triangle V^x$	Объемъ кладки.
		tg α	d	d'	h''	d''	H''	d'.λ	μ	d''.λ₁	μ₁		
	2	0,48	0,75	1,30	2,75	—	—	2,301	0,26	—	—		
20												49,08 x + + 3,50 x²	126,90
	4	0,18	0,75	1,60	4,25	1,75	1,50	—	—	2,607	0,09		
20												58,83 x + + 2,00 x²	217,90
	5	0,30	0,85	1,70	4,25	1,95	2,50	—	—	3,276	0,11		
18												57,94 x + + 1,80 x²	229,86
	7	0,20	1,00	1,85	4,25	2,08	2,25	—	—	3,162	0,09		
8												26,94 x + + 0,81 x²	106,40
	6	0,34	0,90	1,75	4,25	2,03	2,75	—	—	3,573	0,12		
10												30,99 x + + 1,70 x²	96,50
	3	0,40	0,80	1,60	4,00	—	—	2,624	0,22	—	—		
25												60,46 x + + 6,00 x²	109,50
	2	0,48	0,75	1,25	2,50	—	—	2,213	0,26	—	—		

Примѣчаніе: Коэффиціенты λ, λ_1, μ и μ_1 изъ табличекъ a и b (отд. II).

Такимъ образомъ объемъ кладки представится выраженіемъ

$$V_k^x = V_k + \triangle V_k = V_k + 284,24\ x + 15,84\ x^2.$$

Положимъ теперь стоимость 1 кб. саж. земл. раб. . . . . 4 руб.
» » » » » кладки на растворѣ . . . . 200 »
» » » » » » сухой . . . . 80 »
» » » 1 кв саж. отчужденія . . . . . . 0,20 »
и составимъ выраженіе общей стоимости всѣхъ работъ K_x :

$$K_x = 4\,[(N + V) + 50,73\,x + 980,66\,x^2 - 1,77\,x^3] + 200\,(216,23 + 36,01\,x) +$$
$$+ 20\,[(Q_a + Q_v) - 899,43 - 3713,98\,x + 1,26\,x^2 - 59,96\,x^3] + 80\,(V_k + 284,24\,x + 15,84\,x^2).$$

Приравнивая нулю первую производную и рѣшая полученное уравненіе:

$$29402,30 + 10380,18\,x - 57,22\,x^2 + 0$$

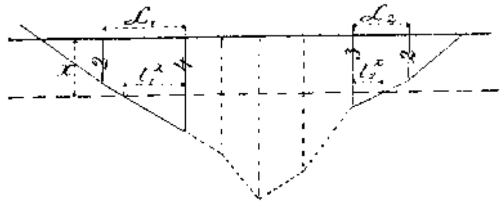
находимъ:

$$x_1 = -2,83 \text{ саж.};\ x_2 = -2,83 + \frac{431,94}{10704,05} = -2,79\,\text{с.}$$

Не останавливаясь на полученномъ значеніи (x), необходимо принять во вниманіе слѣдующія замѣчанія:

1) Общее протяженіе, занятое подпорными стѣнками при новомъ положеніи проекта, должно быть исправлено въ нашемъ расчетѣ, ибо крайнія части при отмѣткахъ насыпи h = 2 саж.— замѣняются отчасти выемками.

Принимая къ свѣдѣнію тѣ правила исправленія, которыя излагались выше (см. отд. II, § 4, подпорныя стѣны) предположимъ, что истинное значеніе (x) не выходитъ изъ предѣловъ отмѣтки $h = 3$ саж. (т. е., иначе, — остается въ предѣлахъ крайнихъ объемовъ); тогда крайнія разстоянія $L_1 = 20$ и $L_2 = 25$ саж. (см. выше табличку, а также фиг. 33) слѣдуетъ, очевидно, замѣнить нѣкоторыми перемѣнными величинами l_1^x и l_2^x, которыя найдутся согласно формулѣ 142 изъ соотношеній:



Фиг. 33.

$$l_1^x = L_1\left(\frac{4+x}{2}\right) = 20\left(\frac{4+x}{2}\right) = 40 + 10x$$

и

$$l_2^x = L_2\left(\frac{3+x}{1}\right) = 75 + 25x.$$

Согласно правилу для перваго объема слѣдуетъ вмѣсто величины приращенія (см. табличку всѣхъ данныхъ)

$$\Delta V_1 = 49{,}08\,x + 3{,}50\,x^2$$

взять

$$\Delta V_1 = (W_1^x - V_1),$$

гдѣ

$$W_1^x = \frac{1}{2}\,\omega_x \,.\, l_1^x = \frac{1}{2}\,[\omega_2 + d''\lambda_1 x + \mu_1 x^2]\,.\,(40 + 10\,x);\ (\text{см. } 141 \text{ bis}).$$

Здѣсь ω_2 есть площадь сѣченія стѣнки при высотѣ ея, соотвѣтствующей данной рабочей отмѣткѣ $h = 4$ саж.; высота эта по табличкѣ равна $h'' + H'' = 4{,}25 + 1{,}50 = 5{,}75$; слѣдовательно (по таблицѣ A) [1]:

$$\omega_2 = 9{,}31 \text{ кв. саж.}$$

Размѣръ стѣнки d'' по низу дается въ таблицѣ № I, а именно при высотѣ стѣнки $= 5{,}75$ с., $d'' = 1{,}75$ саж.

Коэффиціенты λ_1 и μ_1 находимъ по данному уклону $tg\alpha = 0{,}15$ изъ таблички b равными:

$$\lambda_1 = 1{,}49 \text{ и } \mu_1 = 0{,}09.$$

слѣдовательно:

$$W_1^x = \frac{1}{2}\,\omega_x\, l_1^x = \frac{1}{2}(9{,}31 + 1{,}75\,.\,1{,}49\,x + 0{,}09\,x^2)(40 + 10\,x),$$

или

$$W_1^x = 186{,}20 + 98{,}69\,x + 14{,}84\,x^2 + 0{,}45\,x^3.$$

V_1—есть первоначальный объемъ на протяженіи $L_1 = 20$ саж. при высотѣ ограничивающихъ стѣнокъ 2,75 и 5,75 (см. табличку).

[1]) Надсыпка $h' = 0{,}75$ (см. поперечный профиль).

Соотвѣтственныя площади сѣченій имѣемъ въ таблицѣ А: 3,38 и 9,31 кв. саж.; слѣдовательно объемъ можетъ быть принятъ равнымъ:

$$V_1 = \frac{(3,38 + 9,31)}{2} \cdot 20 = 126,90 \text{ куб. саж.}$$

Такимъ образомъ приращеніе будетъ слѣдующее:

$$\triangle V_1 = (W_1^x - V_1) = 59,30 + 98,60\,x + 14,84\,x^2 + 0,45\,x^3.$$

Совершенно такъ же найдемъ, что приращеніе послѣдняго объема, т. е. $(60,46\,x + 6,00\,x^2)$ должно быть замѣнено формулой:

$$\triangle V_c = 106,50 + 170,40\,x + 41,05\,x^2 + 2,75\,x^3.$$

2) Значеніе $x = -2,79$ указываетъ, между прочимъ, на то, что высота стѣнокъ выходитъ изъ предѣловъ примѣненія типа № 2 (а слѣдовательно и формулы 67); поэтому величины приращеній, соотвѣтствующихъ указанному типу, а именно:

$(49,08\,x + 3,50\,x^2)$; $(58,83\,x + 2,00\,x^2)$; $(57,94\,x + 1,80\,x^2)$; $(26,94\,x + 0,84\,x^2)$ и $(30,99\,x + 1,70\,x^2)$ — (см. выше табличку къ этому примѣру), — должны быть замѣнены болѣе правильными. Исправленіе въ каждомъ случаѣ дѣлается по извѣстному намъ правилу (см. Отд. II, 4, подпорныя стѣны).

Такъ какъ вторая стѣнка имѣетъ высоту

$$h'' + H'' = 4,25 + 1,50 = 5,75 \text{ саж.},$$

то размѣръ по низу d' (считая его, по правиламъ, для типа № 1) равенъ:

$$d' = d + \frac{5,75}{5} = 0,75 + 1,15 = 1,90 \text{ саж.},$$

а слѣдовательно величина постоянной разности (r_2) будетъ:

$$r_2 = 5,06 - (9,31 - 4,09) = -0,16.$$

Приращеніе площади стѣнки по замѣняющей формулѣ (64) выразится при $d' = 1,90$ с. и величинѣ уклона $tg\alpha = 0,18$ — слѣдующимъ образомъ:

$$\triangle\omega_2' = d' \cdot \lambda \cdot x + \mu\,x^2 = 1,90 \cdot 1,37 \cdot x + 0,16\,x^2 = 2,60\,x + 0,16\,x^2;$$

поэтому точная величина (исправленная) приращенія площади второй стѣнки будетъ равна

$$\triangle\omega_2 = \triangle\omega_2' + r_2 = -0,16 + 2,60\,x + 0,16\,x^2.$$

Этой величиной прежде всего слѣдуетъ замѣнить сумму $d''\lambda_1\,x + \mu_1 x^2 = 1,75\ (1,49)\,x + 0,09\,x^2$ въ выраженіи W_1^x, которая приметъ видъ:

$$W_1^x = \frac{1}{2}\,\omega_x\,l_1^x = \frac{1}{2}(9,31 - 0,16 + 2,60\,x + 0,16\,x^2)(40 + 10\,x),$$

или

$$W_1^x = 183,00 + 97,75\,x + 15,20\,x^2 + 0,80\,x^3.$$

Поэтому окончательно исправленное значеніе $\triangle V_1$ будетъ:

$$\triangle V_1 = (W_1^x - V_1) = 56,10 + 97,75\,x + 15,20\,x^2 + 0,80\,x^3.$$

Для третьей стѣнки точно такъ же найдемъ:

$$r_3 = 5,51 - (12,48 - 6,85) = -0,12 \text{ (при } d' = 2,20);$$

и

$$\triangle \omega_3 = -0,12 + 3,30\ x + 0,19\ x^2;$$

Такъ какъ разстояніе между второй и третьей стѣнками равно $L_2 = 20$, то объемъ $\triangle V_2$ можетъ быть принятъ равнымъ:

$$\triangle V_2 = \frac{(\triangle \omega_2 + \triangle \omega_3)}{2} . L_2 = 59,00\ x + 3,50\ x^2 - 2,80 \text{ кб. саж.}$$

Этимъ выраженіемъ замѣняется, слѣдовательно, полученное ранѣе, т. е.:

$$\triangle V_2 = 58,83\ x + 2,00\ x^2.$$

Производя дальнѣйшія выкладки аналогично найдемъ:

$$r_4 = 5,67 - (13,06 - 7,21) = -0,18 \text{ кв. с., (при } d' = 2,30);$$

$$\triangle \omega_4 = -0,18 + 3,20\ x + 0,16\ x^2;$$

и

$$\triangle V_3 = \frac{(\triangle \omega_3 + \triangle \omega_4)}{2} . L_3 = -2,70 + 58,50\ x + 3,15\ x^2,$$

вмѣсто $57,94\ x + 1,80\ x^2$.

Далѣе:

$$r_5 = 6,24 - (13,54 - 7,21) = -0,09 \text{ (при } d' = 2,30 \text{ с.)};$$

$$\triangle \omega_5 = -0,09 + 3,57\ x + 0,20\ x^2$$

и

$$\triangle V_4 = \frac{\triangle \omega_4 + \triangle \omega_5}{2} . L_4 = -1,12 + 27,08\ x - 1,44\ x^2 \text{ кб. с}$$

вмѣсто выраженія:

$$(26,94\ x + 0,84\ x^2).$$

Наконецъ, согласно значенію $\triangle \omega_5 = -0,09 + 3,57\ x + 0,20\ x^2$ слѣдуетъ замѣнить величину $\triangle V_5 = 30,99\ x + 1,70\ x^2$ новой, а именно:

$$\triangle V_5 = \frac{(\triangle \omega_5 + \triangle \omega_6)}{2} L_5 = \frac{(-0.09 + 3,57\ x + 0,20\ x^2) + (2,624\ x + 0,22\ x^2)}{2}\ 10$$

или

$$\triangle V_5 = -0,45 + 30,95\ x + 2,10\ x^2.$$

Для большей ясности выпишемъ въ послѣдовательномъ порядкѣ всѣ истинныя выраженія приращеній:

$$\begin{aligned}
&1)\ \triangle V_1 = \quad 56,10 + 97,75\ x + 15,20\ x^2 + 0,80\ x^3;\\
&2)\ \triangle V_2 = -\ 2,80 + 59,00\ x + 3\ 50\ x^2;\\
&3)\ \triangle V_3 = -\ 2,70 + 58.50\ x + 3,15\ x^2;\\
&4)\ \triangle V_4 = -\ 1,12 + 27,08\ x + 1,44\ x^2;\\
&5)\ \triangle V_5 = -\ 0,45 + 30,95\ x + 2,10\ x^2\\
\text{и }\ &6)\ \triangle V_6 = \quad 106,50 + 170,40 x + 41,05\ x^2 + 2,75\ x^3.
\end{aligned}$$

Суммируя ихъ и соединяя по степенямъ x, получимъ слѣдующее равенство:

$$\Sigma\triangle V = 155,53 + 443,68\,x + 66,44\,x^2 + 3,55\,x^3,$$

которымъ и слѣдуетъ замѣнить полученное ранѣе, т. е. $284,24\,x + 15,84\,x^2$.

Взявъ отсюда новую первую производную (вмѣсто прежней), умноженную на 80 (стоимость 1 кб. саж. сухой кладки), или $80\,(443,68 + 132,88\,x + 10,65\,x^2) = 35494,40 + 10630,40\,x + 852,00\,x^2$, и, включивъ ее въ общую производную, найдемъ истинный видъ уравненія:

$$42157,50 + 18476,18\,x + 794,78\,x^2 = 0;$$

рѣшая его имѣемъ:

$$x_1 = -2,22;\ x_2 = -2,22 - \frac{4058,65}{22005,00} = -2,40\ \text{c.}$$

Принявъ $x = -2,40$ подсчитаемъ, какая можетъ быть при этомъ значеніи экономія въ расходахъ.

Изъ выраженія общей стоимости K_x имѣемъ слѣдующую величину $\triangle K_x$:

$$\triangle K_x = 4\,(50,73\,x + 980,66x^2 - 1,77\,x^3) + 200\,(36,01\,x) + 0,20\,(-3713,98\,x + 1,26\,x^2 - 59,96\,x^3) + 80\,(155,53\,^{1)} + 443,68\,x + 66,44\,x^2 + 3,55\,x^3)$$

или

$$\triangle K_x = 12442,40 + 42156,52\,x + 9238,09\,x^2 + 364,93\,x^3;$$

подставляя сюда $x = -2,40$, получимъ экономіи въ расходахъ:
$12442,40 - 101175,65 + 53211,40 - 5043,33 = -$ ***40565,18 рубл. на взятой верстѣ***, что составляетъ около 25% первоначальной стоимости земляныхъ работъ и кладки.

Если опустить проектъ на 1 саж., то величина сокращенія расходовъ будетъ равна *20840,96 рубл.;* если же опустить проектъ на 0,30 с., когда наступаетъ транспортность земляныхъ работъ, то сумма экономіи, опредѣленная по прежнему выраженію $\triangle K_x$, не требующему исправленій, выразится цифрой $292,36 - 2160,60 + 223,18 - 6707,20 = -$ *8352,26 рубл. на версту.*

№ 5. До сихъ поръ приводились примѣры не столько еще въ доказательство выгодности перепроектировки [2], основанной на расчетѣ, сколько для навыка въ примѣненіи къ дѣлу полученныхъ выводовъ.

Теперь остановимся на произвольно выбранной части профиля (около 5 верстъ см. чертежъ № 14) одной изъ недавно выстроенныхъ дорогъ въ мѣстности съ сравнительно небольшими земляными работами.

Подсчетъ земляныхъ работъ при профиляхъ нормальнаго типа съ откосами (1 : 1,50), основанный частью на поперечныхъ профиляхъ, частью на аналитическихъ выкладкахъ, далъ — за вычетомъ на мостахъ и трубахъ, слѣдующія количества:

1) По поперечнымъ профилямъ:

насыпи:

$$N_x = 1419,72\,^{3)} + 986,26\,x + 157,59\,x^2 + 5,07\,x^3$$

---

[1]) При подсчитываніи $\triangle K_x$, какъ замѣчалось выше, необходимо включить въ выраженіе $\triangle K_x$ и тотъ постоянный членъ, который явился результатомъ исправленія формулъ.

[2]) Взятые для примѣровъ продольные профиля по своей произвольности могутъ показаться мало убѣдительными, — хотя, впрочемъ, можно быть увѣреннымъ, что, даже оцѣнивая различныя мѣстныя условія ни одинъ спеціалистъ не угадаетъ сразу наилучшее положеніе проектной линіи.

[3]) Подсчетъ по профилямъ сдѣланъ болѣе точный съ помощью «призматы».

выемки:

$$V_x = 5251,86 - 2916,55\,x + 122,93\,x^2 - 16,67\,x^3$$

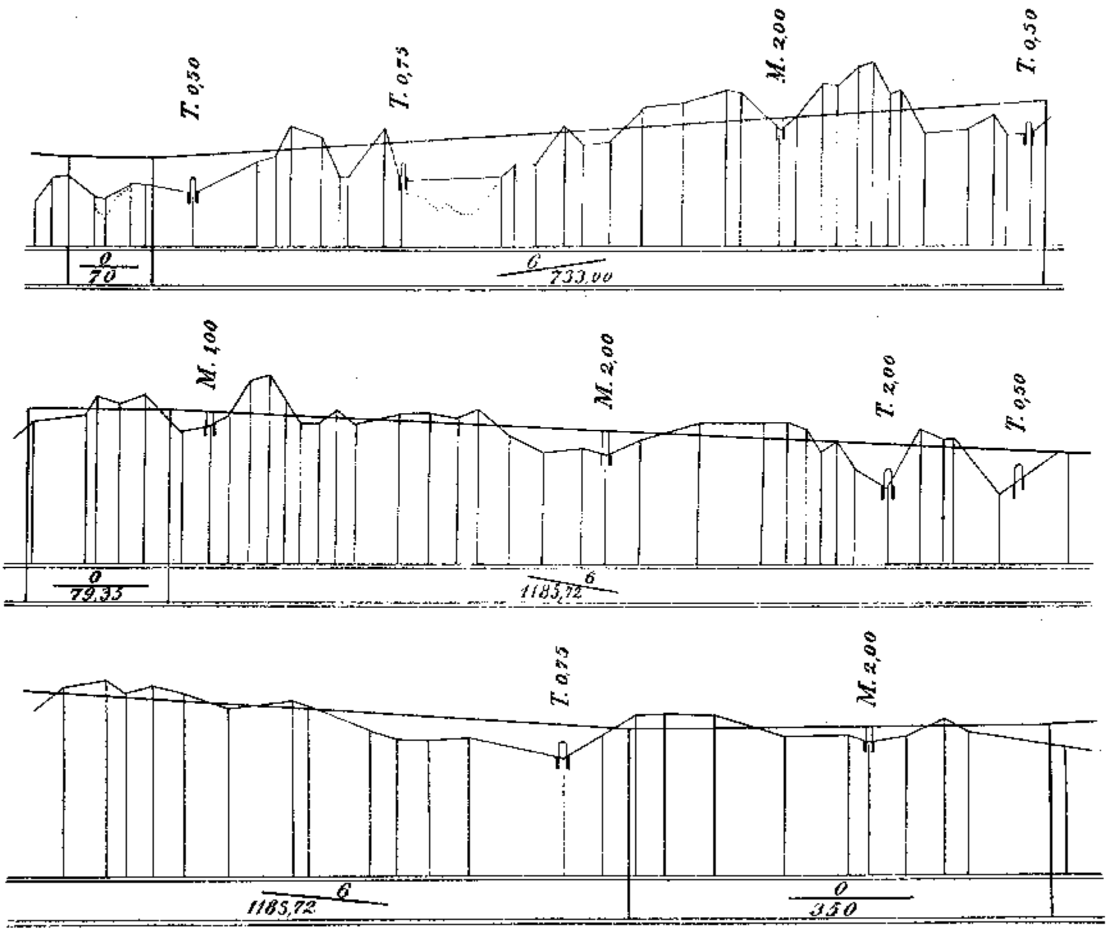
2) по таблицамъ:

насыпи:

$$N_x = 12745,17 - 9481,89\,x + 2671.45\,x^2 + 265,08\,x^3;$$

выемки:

$$V_x = 3309,04 - 4878,07\,x + 2195,56\,x^2 - 251,20\,x^3.$$



Черт. № 14.

всего: насыпи:

$$N_x = 14164,89 + 10468,15\,x + 2829,04\,x^2 + 270,15\,x^3;$$

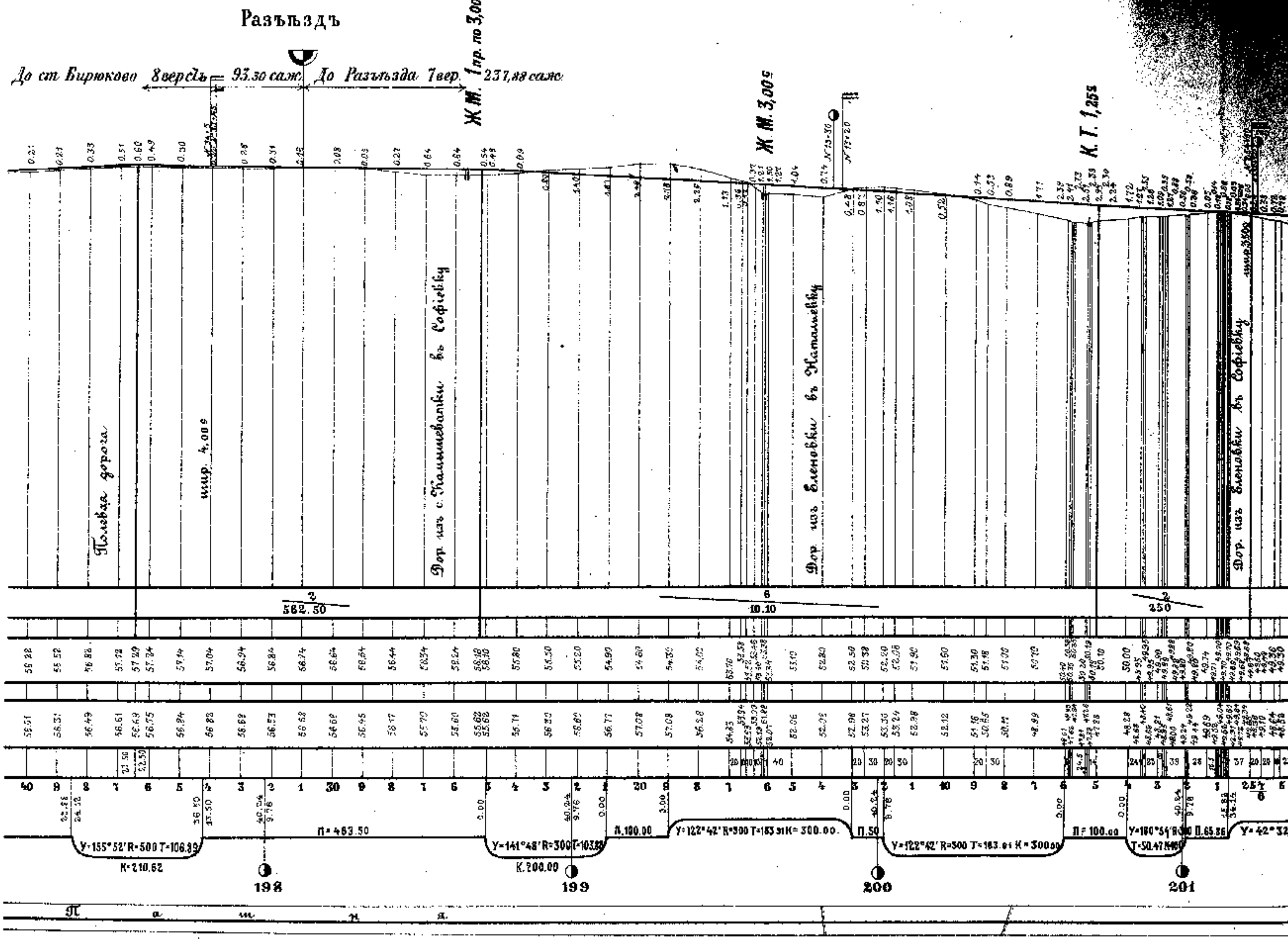
выемки:

$$V_x = 8560,90 - 7794,62\,x + 2618,49\,x^2 - 267,87\,x^3.$$

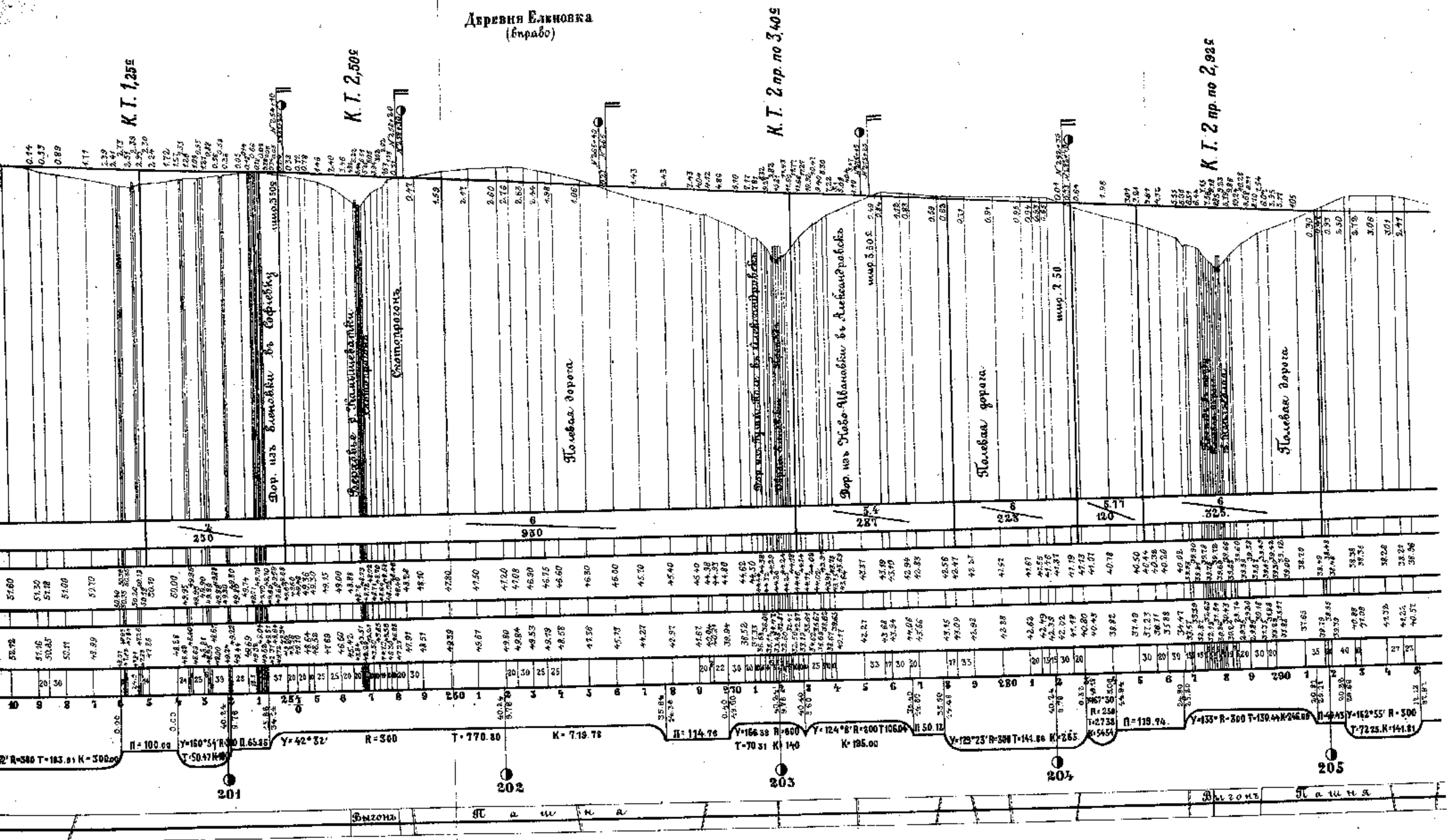
а въ общемъ:

$$N_x + V_x = 22725,79 + 2673,53\,x + 5447,53\,x^2 + 2,28\,x^3.$$

Предполагая, по даннымъ N_x и V_x, что проектъ долженъ быть опущенъ, не будемъ вводить въ расчетъ тѣ сооруженія, у которыхъ насыпь близка къ минимальной; таковыми будутъ 2 моста отв. по 2 саж. и одинъ мостъ отв. 1,00 сажень; кладка этихъ мостовъ не можетъ дать экономіи.


Разъѣздъ
До ст Бирюково 8 верстъ 93.30 саж.
До Разъѣзда 7 вер. 237,88 саж.
Ж.М. 1 пр. по 3,00 с
Ж.М. 3,00 с
К.Т. 1,25 с
Полевая дорога
шир. 4.00 с
Дор. изъ с. Каминеватки въ Софіевку
Дор. изъ Еленовки въ Наталиевку
Дор. изъ Еленовки въ Софіевку
562.50
10.10
250
П = 463.50
П. 100.00
П. 50
П = 100.00
К = 210.62
К. 200.00
198
199
200
201
П а ш н я

ЧЕРТ. 15


Деревня Елновка
(вправо)
К. Т. 1,25°
К. Т. 2,50°
К. Т. 2 пр. по 3,40°
К. Т. 2 пр. по 2,92°
Дор. изъ Еленовки въ Софiевку
Скотопрогонъ
Полевая дорога
Дор. изъ Ново-Ивановки въ Александровскъ
Полевая дорога
Полевая дорога
шир. 3,50
шир. 3.50
Выгонъ
Пашня
Выгонъ
Пашня
201
202
203
204
205

Остаются слѣдующія сооруженія:

I) Мосты отв. 2,00 саж. при отмѣткѣ насыпи $h = 2,11$ саж.; объемъ кладки выразится формулой [1]:

$$V_x = [2,76 + (2,11.)\ (2)\ (3,77)]\ x + 3,77\ x^2;$$

или

$$V_x = V + 18,67\ x + 3,77\ x^2.$$

II) Трубы [2]);

1) Отв. 0,50 с. при высотѣ стѣнки $H = 1,00$:

$$V_x = V + 10,25\ x.$$

2) Отв. 0,75 с. при $H = 1,00$ с.; $V_x = V + 12,79\ x$.

3) Отв. 0,50 с. при $H = 1,00$ с.; $V_x = V + 10,25\ x$.

4) Отв. 2,00 с. при $H = 1,50$ с.; $V_x = V + 26,84\ x$.

5) Отв. 0,50 с. при $H = 0,75$ с.; $V_x = V + 9,09\ x$.

6) Отв. 0,75 с. при $H = 1,00$ с.; $V_x = V + 12,79\ x$.

Всего кладки $\Sigma V_x = \Sigma V + 100,68\ x + 3,77\ x^2$.

Полагая стоимость 1 кб. саж. земли . . . . 2 руб.
» » 1 » » кладки . . . . 200 руб.,

найдемъ при какомъ x достигается минимумъ расходовъ.

Составивъ извѣстнымъ образомъ уравненіе:

$$25483,06 + 23298,12\ x + 13,68\ x^2 = 0$$

и рѣшая его имѣемъ:

$$x_1 = -1,10\ ;\ x_2 = \infty - 1,10.$$

Не предполагая прорытія искусственныхъ руселъ остановимся на $x = -0,80$ и опредѣлимъ экономію $\Delta\ K_x$:

$$\Delta\ K_x = -20386,45 + 7455,40 - 2,34 = -12933,39 \text{ рублей},$$

или

$$\frac{12933,39}{5} = 2586,68 \text{ руб. на версту.}$$

Если возьмемъ $x = -0,30$, при которомъ наступаетъ равенство насыпей и выемокъ, то и тогда имѣемъ слѣдующую экономію:

$$\Delta\ K_x = -7644,92 + 1048,42 - 0,12 = -6596,62 \text{ р.},$$

или

1319,32 руб. на версту, не говоря уже объ экономіи отъ замѣны 5500 кубовъ земли одиночныхъ работъ двойными.

№ 6. Разсмотримъ еще одинъ примѣръ, для чего возьмемъ небольшую часть продольнаго профиля одной изъ выстроенныхъ дорогъ—отъ пикета № 254/0 до № 292, т. е. нѣсколько менѣе 4-хъ верстъ (черт. 15). Для наглядности возьмемъ и планъ направленія линіи (черт. 16), гдѣ между прочимъ схематически въ масштабѣ высотъ продольнаго профиля изображены выемки (заштрихованная часть) и насыпи.

---

[1]) Круго Байкальской дороги.

[2]) Высоты стѣнокъ взяты приблизительно.

Предполагая достаточно обоснованнымъ положеніе проектной линіи, все же весьма интересно опредѣлить: каковы могли бы быть экономическія выгоды, еслибы, напримѣръ, оказалось возможнымъ: опустить ли проектъ, отодвинувъ первый разъѣздъ нѣсколько влѣво и использовавъ 0,002-ый уклонъ, или же поднять мѣстность, нѣсколько иначе расположивъ кривыя съ возможнымъ сокращеніемъ прямыхъ вставокъ между ними (черт. 16).

Слѣдуя обычному порядку, выпишемъ всѣ необходимыя данныя для расчета:

1) транспортности земляныхъ работъ

и 2) minimum'a стоимости общаго количества земляныхъ работъ и каменной кладки.

При этомъ будемъ имѣть въ виду слѣдующія особенности линіи:

1) Ширина полотна $2a_н = 2{,}70$ саж., и $c_н = \dfrac{a_н}{1{,}50} = 0{,}90$ с.

2) ширина кювета по верху $= 0{,}95$ с., и слѣдовательно,

» $2a_v = 2{,}70 + 2\ (0{,}95) = 4{,}60$ саж.

3) Въ насыпяхъ при $h \leqq 3$ саж. и выемкахъ при $h > 1{,}00$ с.—откосы полуторные (1 : 1,50); въ насыпяхъ же высотою $h > 3$ саж. 1 : 1,75.

4) Ширина $2a_к$ въ насыпяхъ $= 2{,}70 + 2\ (3 \times 1{,}50) = 11{,}70$ с. и $c_к = 3{,}34$ с.

5) Выемки глубиною до 1,00 саж. разбираются по верху до 8,00 саж.

Выраженіе объема насыпи (18 bis) будетъ имѣть, слѣдовательно, видъ:

$$W_к^x = W_к + (3\,\Sigma p + 3{,}50\,\Sigma P)\,x + \left[1{,}50\ \Sigma l + 1{,}75\ \Sigma L + 1{,}35\,\Sigma\,\frac{l_k}{h_k}\right] x^2 + 0{,}50\,\Sigma\,\frac{l_k}{h_k}\,x^3;$$

$$\text{принимая } p = \frac{(h_1 + c_н) + (h_2 + c_н)}{2}\,.\,l = \frac{(h_1 + h_2)}{2}\,.\,l + c_н\,l = q + 0{,}90\ l,$$

$$\text{или } 3\ \Sigma p = 3\ \Sigma q + 2{,}70\ \Sigma l$$

$$\text{и } 3{,}50\ \Sigma P = 3{,}50\ \Sigma Q + 11{,}70\ \Sigma L,$$

напишемъ окончательно:

$$W_к^x = W_к + \left[(3\,\Sigma q + 2{,}70\ \Sigma l) + (3{,}30\,\Sigma Q + 11{,}70\,\Sigma L)\right] x + \Bigg[\,1{,}50\ \Sigma l + 1{,}75\,\Sigma L +$$

$$+ 1{,}35\,\Sigma\,\frac{l_k}{h_k}\Bigg]\,x^2 + 0{,}50\ \Sigma\,\frac{l_k}{h_k}\,x^3.$$

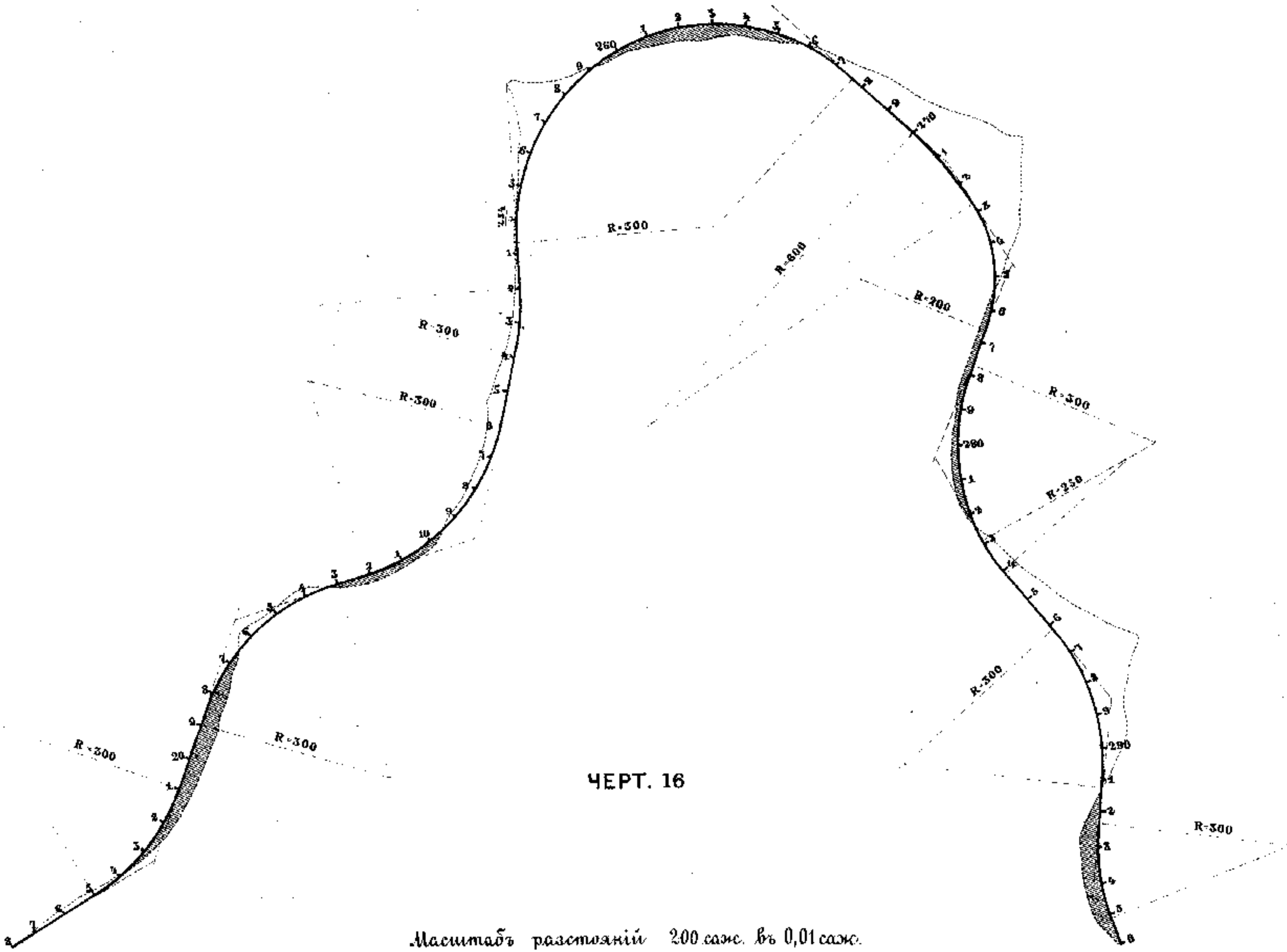
Для выраженія объема выемокъ точно также вмѣсто (27 bis) будемъ имѣть:

$$W_v^x = W_v - \left[6{,}30\ \Sigma l + (3\,\Sigma Q + 4{,}60\ \Sigma L) + 0{,}27\,\Sigma\,\frac{l_k}{h_k}\right] x +$$

$$+ \left[1{,}50\ \Sigma L + 3{,}15\,\Sigma\,\frac{l_k}{h_k} + 0{,}85\ \Sigma\,\frac{L_k}{(H_k - 1)}\right] x^2 - 0{,}50\ \Sigma\,\frac{L_k}{(H_k - 1)}\,x^3\ ^{1)}.$$

---

[1]) Предвидя заранѣе извѣстное пониженіе проекта примемъ для наименѣе значительной второй выемки (черт. 15) формулу (8 bis) съ соотвѣтственнымъ коэффиціентомъ 2,30 вмѣсто 2,55 при $\Sigma\,\dfrac{l_k}{h_k}$.



ЧЕРТ. 16

Масштабъ разстояній 200 саж. въ 0,01 саж.

Первая насыпь. (Продолженіе).

l	h	q и Q	Объемъ W
	0,00		
37		4,44	14,65
	0,24		
20		6,20	21,44
	0,38		
20		11,00	40,87
	0,72		
10		7,50	29,59
	0,78		
25		28,00	126,33
	1,46		
25		48,25	274,97
	2,40		
10		27.00	183,60
....	3,00	....	
10		32,30	245,04
	3,46		
20		83,80	768,04
	4,92		
5		25,35	267,10
	5,22		
5		29,33	349,09
	6,51		
10		52,25	573,49
	3,94		
10		34,80	278,32
....	3,02	....	
10		26,20	175,41
	2,22		

l	h	q и Q	Объемъ W
	2,22		
10		19,25	108,90
	1,63		
10		13,80	67,03
	1,13		
20		15,00	60,62
	0,37		
13		2,40	7,96
	0,09		
		ИТОГО . .	3592,45

$3\Sigma q = 627,12$; $2,70\,\Sigma l = 567,00$;

$3,50\,\Sigma Q = 902,40$; $11,70\Sigma L = 702,00$;

$1,50\,\Sigma l = 315,00$; $1,75\Sigma L = 105,00$.

$\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 57 + 24 = 81,00$; *)

$1,35\,\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 109,35$;

$0,50\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 40,50$.

Такимъ образомъ выраженіе объема 1-й насыпи будетъ:

$$W^x_{s_1} = 3592,45 + 2798,00x + 529,35x^2 + + 40,50x^3.$$

*) Для большей точности въ случаѣ замѣтнаго пониженія проектной линіи $\frac{l_k}{h_k}$ взято въ предѣлахъ нѣсколькихъ объемовъ; такъ, 24 получено дѣленіемъ $l = 13 + 20 + 10 + 10 = 53$ на $h = 2,22$ и т. д.

Вторая насыпь.

l	h	q и Q	Объемъ W
	0,00		
60		42,90	179,88
	1,43		
50		96,50	550,65
	2,43		
28.50		77,38	556,26
	3,00		
21,50		69,12	522,73
	3,43		
20		74,70	625,76
	4,04		
8		32,64	290,94
	4,12		
22		98,78	947,94
	4,86		
30		164,40	1850,72
	6,10		
20		132,70	1750,19
	7,17		
10		74,90	1095,63
	7,81		
10		80,65	1258,83
	8,32		
10		87,65	1474,18
	9,21		
5		47,58	861,24
	9,82		
5		52,57	1005,30
	10,81		
3		33,36	696,40
	11,43		
7		80,61	1737,42
	11,60		
3		35,05	765,93
	11,77		

(Продолженіе).

l	h	q и Q	Объемъ W
	11,77		
7		80,64	1739,10
	11,27		
5		55,48	1155,04
	10,92		
5		53,48	1076,87
	10,47		
10		99,35	1871,62
	9,40		
10		88,50	1502,00
	8,30		
10		77,60	1172,03
	7,22		
25		154,63	1933,30
	5,15		
5		25,57	271,33
	5,08		
10		45,60	443,59
	4,04		
10		37,55	315,68
	3,47		
10		32,35	245,68
	3,00		
40		82,00	495,20
	1,10		
23		12,65	49,11
	0,00		
		ИТОГО .	28440,55

$3\Sigma q = 934,29;\ 2,70\Sigma l = 544,05;$
$3,50\Sigma Q = 6354,11;\ 11,70\Sigma L = 3293,55.$
$1,50\Sigma l = 302,25;\ 1,75\Sigma L = 492,63;$
$1,35\,\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 91,12;\ 0,50\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 33,75.$

Выраженіе объема будетъ:

$$W^x_{N_2} = 28440,55 + 11125,15x + 886,00x^2 + 33,75x^3,$$

Третья насыпь.

i	h	q и Q	Объемъ W
	0,00		
20		6,40	22,28
	0,64		
50		65,00	317,60
	1,96		
50		124,25	810,00
	3,01		
30		99,30	766,14
	3,61		
20		79,30	693,68
	4,32		
30		148,05	1533,09
	5,55		
15		89,33	1074,60
	6,36		
5		32,33	416,24
	6,57		
15		101,32	1354,77
	6,94		
5		35,23	488,29
	7,15		
5		36,78	529,30
	7,56		
5		39,35	601,15
	8,18		
5		42,58	697,54
	8,85		
5		45,20	781,11
	9,23		
5		46,55	826,00
	9,39		
5		48,13	880,22
	9,86		
2		20,10	382,35
	10,24		
2		20,52	397,74
	10,28		

(Продолженiе).

l	h	q и Q	Объемъ W
	10,28		
1		9,98	188,71
	9,68		
13		123,44	2229,85
	9,31		
7		60,94	1019,27
	8,10		
5		39,10	593,94
	7,54		
20		136,10	1837,20
	6,07		
30		150,30	1587,99
	3,95		
20		71,20	577,62
	3,17		
4		12,34	90,81
	3,00		
46		93,15	560,46
	1,05		
27,60		14,49	55,59
	0,00		
		ИТОГО	21313,54

$$3\Sigma q = 909{,}87;\ \ 2{,}70\,\Sigma l = 522{,}72;$$
$$3{,}50\,\Sigma Q = 5206{,}15;\ 11{,}70\,\Sigma L = 2971{,}80;$$
$$1{,}50\,\Sigma l = 290{,}40;\ \ 1{,}75\,\Sigma L = 444{,}50;$$
$$1{,}35\,\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 89{,}91;\ \ 0{,}50\,\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 33{,}30.$$

Выраженiе объема будетъ:

$$W^{x}_{x_3} = 21313{,}54 + 9610{,}54\,x + 824{,}81\,x^2 + 33{,}30\,x^3.$$

Общiй объемъ всѣхъ насыпей представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$\Sigma W^{x}_{x} = 53346{,}54 + 23533{,}69\,x + 2240{,}16\,x^2 + 107{,}55\,x^3.$$

Первая выемка.

l	h	Q	Объемъ W
	0,00		
17		—	26,40
	0,47		
24		—	115,63
	1,00		
26		33,67	220,62
	1,59		
50		94,00	712,30
	2,17		
50		119,25	989,05
	2,60		
20		53,60	467,18
	2,76		
30		80,85	706,44
	2,63		
25		63,38	538,98
	2,44		
25		55,25	444,33
	1,98		
50		76,00	543,80
	1,06		
2		2,06	
	1,00		127,40
38		—	
	0,00		
		ИТОГО . . .	4892,13

$6{,}30\,\Sigma l = 497{,}70;\ 3\,\Sigma Q = 1734{,}18$

$4{,}60\,\Sigma L = 1278{,}80;\ 0{,}27\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 19{,}17;$

$1{,}50\,\Sigma L = 417{,}00;\ 3{,}15\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 223{,}65;$

$0{,}85\,\Sigma\frac{L_k}{H_{k-1}} = 65{,}45;\ 0{,}50\Sigma\frac{L_k}{H_{k-1}} = 38{,}50.$

Выраженіе объема будетъ:

$$W^x_{v_1} = 4892{,}13 - 3529{,}85\,x + 706{,}10\,x^2 - 38{,}50\,x^3$$

Вторая выемка.

l	h	Q	Объемъ W
	0,00		
10		2,45	16,11
	0,49		
17		11,31	75,02
	0,84		
30		29,40	192,24
	0,12		
20		19,50	127,52
	0,83		
50		35,50	235,70
	0,59		
50		32,50	217,30
	0,71		
50		40,50	267,40
	0,91		
50		46,50	305,70
	0,95		
20		18,90	124,16
	0,94		
15		14,03	92,18
	0,93		
15		11,40	52,12
	0,65		
30		9,75	62,07
	0,00		
		ИТОГО . .	1767,52

$3\,\Sigma q = 815{,}22;\ 4{,}60\,\Sigma l = 1642{,}20$

$0{,}27\,\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 16{,}74;\ 1{,}50\,\Sigma l = 535{,}50;$

$2{,}30\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 142{,}60;\ 0{,}50\Sigma\frac{l_k}{h_k} = 31{,}00.$

Выраженіе обьема 2-ой выемки будетъ:

$$W^x_{v_2} = 1767{,}52 - 2474{,}16\,x + 678{,}10\,x^2 - 31{,}00\,x^3.$$

Общее выраженіе объемовъ выемокъ представится слѣдующей формулой:

$$\Sigma W_v^x = 6659{,}65 - 6004{,}01\,x + 1384{,}20\,x^2 - 69{,}50\,x^3.$$

Въ виду наличности трубъ подъ насыпями необходимо выключить занимаемую ими часть земляной кубатуры изъ общаго объема насыпей. Чтобы облегчить по возможности какъ эту задачу, такъ въ дальнѣйшемъ и отысканіе выраженія объема кладки трубъ, допустимъ, безъ особой погрѣшности для конечнаго результата, что вмѣсто исключительнаго случая проектированія такихъ трубъ, какъ подъ второй и третьей насыпями (черт. 16),—имѣется въ первомъ случаѣ труба въ 3 пролета по 2,50 с. при $H = 1{,}50$ с., $\omega = 11{,}80$ кв. с., $c = 0{,}35$ с.; во второмъ-же—2 пролета по 2,75 с. при $H = 1{,}50$ с. и $c = 0{,}35$ с., т. е. трубы, приблизительно равнообъемныя съ прежними по количеству кладки.

При этихъ условіяхъ, для опредѣленія вычета земляной кубатуры на мѣстѣ трубъ, обратимся къ формуламъ (133) и дальнѣйшимъ.

1-я труба: Высота стѣнокъ $H = 1{,}50$ с.;
толщина въ ключѣ $c = 0{,}35$ с.;
высота насыпи $h = 5{,}44$ с. и
площадь сѣченія $\omega = 48$ (по табл. 9).

$$\Omega_z = \omega + 2{,}30\,H - 0{,}06\,h + 7{,}00 = 10{,}48 + 2{,}30\,(1{,}50) - 0{,}06\,(5{,}44) + 7{,}00,$$

$$\text{или } \Omega_z = 20{,}61 \text{ кв. с.}$$

$$L_z = 3\left(h + 0{,}90 - \frac{H + \frac{b}{2} + c}{2}\right) = 14{,}37 \text{ саж.}$$

$$L_z^x = 14{,}37 + 3\,x;$$

$$V_z^x = 20{,}61\,(14{,}37) + 3\,(20{,}61)\,x = 296{,}17 + 61{,}83\,x \text{ кб. с.}$$

2-я труба.

$$\Omega_z = 11{,}80 + 3{,}45 - 0{,}06\,(11{,}77) + 7{,}00 = 21{,}54 \text{ кв. саж.}$$

$$L_z^x = L_z + 3{,}50\,x = \left(h + 0{,}34 - \frac{H + \frac{b}{2} + c}{2}\right) \cdot (3{,}50) + 3{,}50\,x =$$

$$= 36{,}96 + 3{,}50\,x.$$

$$V_z^x = V_z + 3{,}50\,\Omega_z\,x = 796{,}12 + 75{,}39\,x$$

$$\text{и } 3\,V_z^x = 2388{,}35 + 226{,}17\,x \text{ кб. с.}$$

3-я труба.

$$\Omega_z = \omega + 2{,}55\,H - 0{,}07\,h + 9{,}00 = 13{,}24 + 3{,}83 - 0{,}72 + 9{,}00$$

$$\text{или } \Omega_z = 25{,}35 \text{ кв. с.}$$

$$L_z^x = L_z + 3{,}50\,x = 31{,}50 + 3{,}50\,x;$$

$$V_z^x = 798{,}53 + 88{,}73\,x \text{ кб. с.}$$

$$\text{и } 2V_z^x = 1597{,}06 + 177{,}46\,x \text{ кб. с.}$$

Всего вытѣсняемой кубатуры, слѣдовательно:

$$\underline{\Sigma V_v^x = 4281{,}58 + 465{,}46\ x \text{ кб. саж.},}$$

поэтому истинное выраженіе объема насыпи будетъ:

$$\underline{\Sigma W_k^x = 49064{,}96 + 23068{,}23\ x + 2240{,}16\ x^2 + 107{,}55\ x^3.}$$

Попробуемъ сначала найти то значеніе x, при которомъ получается транспортность земляныхъ работъ.

Рѣшая уравненіе $\Sigma W_k^x - \Sigma W_v^x = 0$, т. е.:

$$42405{,}31 + 29072{,}24\ x + 855{,}96\ x^2 + 177{,}05\ x^3 = 0,$$

$$\text{находимъ}\ \ x_1 = -\frac{42405{,}31}{29072{,}24} = \infty - 1{,}45 \text{ с.}$$

$$\text{и}\ \ x_2 = -1{,}45 - \frac{1508{,}80}{27705{,}38} = -1{,}51 \text{ саж.}$$

Принимая окончательно $x = -1{,}50$ подставимъ этотъ корень въ ΣW_k^x и ΣW_v^x; тогда получимъ:

выемки: $6659{,}65 + 9006{,}02 + 3114{,}45 + 234{,}56 = 19014{,}68$ кб. саж.

и насыпи: $49064{,}96 - 34602{,}34 + 5040{,}36 - 362{,}99 = 19139{,}99$ кб. саж.;

всего, слѣдовательно:

$$\underline{19014{,}68 + 19139{,}99 = 38154{,}67 \text{ кб. саж.}}$$

Кромѣ траспортности работъ имѣемъ еще, очевидно, громадную экономію на общемъ количествѣ кубовъ, а именно:

$$(49064{,}96 + 6659{,}65) - 38154{,}67 = \underline{17569{,}94 \text{ кб. с.}}$$

Найдемъ теперь значеніе x, удовлетворяющее минимуму стоимости земляныхъ работъ и каменной кладки.

Выраженія объемовъ кладки напишутся слѣдующимъ образомъ:

1-я труба: $b = 2{,}50$ с., $H = 1{,}50$ с. и $\omega = 10{,}48$ кв. с.,

$$\text{поэтому } \underline{V_{k1}^x} = V_{k1} + 3\,(10{,}48)\,x = \underline{V_{k1} + 31{,}44\ x \text{ кб. с.}}$$

2-я труба: 3 пролета по 2,50 с. при $H = 1{,}50$ с. и $\omega = 11{,}80$ кв. с.:

$$V_{k2}^x = V_{k2} + 350\ \omega x = V_{k2} + 41{,}30\ x \text{ кб. с.}$$

$$\underline{\text{и } 3V_{k2}^x = 3V_{k2} + 123{,}90\ x \text{ куб. саж.}}$$

3-я труба: 2 пролета по 2,75 с. при $H = 1{,}50$ с. и $\omega = 13{,}24$ кв. с.:

$$V_{k3}^x = V_{k3} + 3{,}50\ \omega x = V_{k3} + 46{,}34\ x \text{ кб. с.}$$

$$\text{и } 2V_{k3}^x = 2V_{k3} + 92{,}68\ x \text{ куб. саж.}$$

Всего кладки

$$\underline{\Sigma V_k^x = \Sigma V_k + 248{,}02\ x \text{ куб. саж.}}$$

Общее количество земляныхъ работъ равно:

$$\Sigma W_x^x - \Sigma W_v^x = 55724{,}61 + 17064{,}22\ x + 3624{,}36\ x^2 + 38{,}05\ x^3 \text{ кб. саж.}$$

Выводя стоимость 1 кб. с. каменной кладки $= 225$ руб.
и » » » » земляныхъ работъ $=$ 2 руб.

находимъ слѣдующее выраженіе общей стоимости:

$$K_x = 225\ (\Sigma V_k + 248{,}02\ x) + 2\ (55724{,}61 + 17064{,}22\ x + 3624{,}36\ x^2 + 38{,}05\ x^3).$$

Взявъ отсюда первую производную и приравнивая ее нулю получимъ уравненіе

$$225\ (248{,}02) + 2\ (17064{,}22 + 7248{,}72\ x + 114{,}15\ x^2) = 0,$$

$$\text{или } 228{,}30\ x^2 + 14497{,}44\ x + 89932{,}94 = 0,$$

$$\text{откуда } x = \infty - 7 \text{ саж.}$$

Возьмемъ $x = -7$, и опредѣлимъ при этомъ значеніи экономію въ расходахъ ΔK_x:

$$\Delta K_x = 89932{,}94\ x + 7248{,}72\ x^2 + 76{,}10\ x^3 = -629530{,}58 + 355187{,}28 - 26102{,}30,$$

$$\text{или } \underline{\Delta K_x = -300445{,}60 \text{ руб.}}$$

на протяженіи менѣе 4 верстъ!

Если остановиться окончательно на $x = -1{,}50$ с., когда имѣемъ транспортность работъ, то и въ такомъ случаѣ сокращеніе расходовъ выразится цифрой:

$$\Delta K_x = 89932{,}94\ (-1{,}50) + 7248{,}72\ (2{,}25) + 76{,}10\ (-3{,}375) = \underline{\underline{-118846{,}63 \text{ руб.}}}$$

Такъ какъ цѣна за кубъ земляныхъ работъ обусловлена, повидимому, сравнительно мелкими выемками, то можно предположить, что съ углубленіемъ этихъ послѣднихъ при пониженіи проекта цѣна за кубъ возрастетъ соотвѣтственно разработкѣ болѣе плотныхъ грунтовъ. Но если даже положить въ среднемъ 6 рублей за кубъ земляныхъ работъ, то уравненіемъ производной будетъ служить слѣдующее:

$$158189{,}82 + 43492{,}32\ x + 684{,}90\ x^2 = 0,$$

$$\text{откуда } x = -3{,}85 \text{ саж.},$$

и экономія въ расходахъ:

$$\Delta K_x = 158189{,}82\ x + 21746{,}16\ x^2 + 228{,}30\ x^3,$$

или

$$\Delta K_x = -287980{,}50 \text{ рублей!}$$

Не лишено интереса то обстоятельство, что въ случаѣ скалистаго грунта со средней цѣной за кубъ 10 рублей, пониженіе проекта вызываетъ абсолютно еще большую сумму сбереженій; въ самомъ дѣлѣ: изъ новаго уравненія производной

$$226446{,}70 + 72487{,}20\ x + 1141{,}50\ x^2 = 0$$

находимъ $x = -3{,}^c 30$,

и сумму экономіи $\Delta K_x = -366255{,}34$ руб.!

Значеніе послѣднихъ ΔK_x легко объясняется, если замѣтимъ, что минимумъ земляныхъ работъ наступаетъ при $x = -2{,}40$ саж., при которомъ общая кубатура уменьшается съ 100817,56 куб. саж., при $x = -7$, до 35120,79 кубовъ при $x = -2{,}40$ с., т. е. почти на 65000,00 кубовъ;

и такъ какъ цѣна за кубъ значительна (10 р.), то абсолютная цифра сбереженій естественно должна увеличиваться до извѣстнаго предѣла по мѣрѣ приближенія x отъ значенія $x = -7$ до $x = -2{,}40$ при одновременномъ же условіи возрастанія цѣнности куба земляныхъ работъ съ 2 рубл. и выше.

При значеніи $x = -1{,}50$ саж., когда имѣемъ транспортность земляныхъ работъ, сбереженіе, при условіи цѣнъ 225 и 10 рублей за кубъ кладки и земляныхъ работъ, выражается суммой:

$$\Delta K_x = -259406{,}14 \text{ рублей!}$$

Наконецъ, при вѣроятности различныхъ цѣнъ за кубъ выемки и насыпи, напримѣръ

$$z_n = 2 \text{ руб. за куб. саж.}$$
$$\text{а } z_v = 5 \text{ » » » »}$$

и прежней цѣнѣ за кубъ кладки въ 225 руб. найдемъ:
уравненіе первой производной

$$-397{,}20\, x^2 + 22802{,}64\, x + 71920{,}91 = 0;$$

$$x = \infty - 3{,}00 \text{ саж.}$$

и сбереженіе расходовъ

$$\Delta K_x = -109576{,}05 \text{ рублей.}$$

V. ЗЕМЛЯНЫЯ СООРУЖЕНІЯ БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ

(Станціонныя площадки, крѣпостные верки, котлованы подъ фундаменты большихъ сооруженій и т. п.).

Подсчетъ объемовъ земляныхъ сооруженій большой площади можно производить по поперечнымъ профилямъ со включеніемъ поправокъ, напримѣръ,—съ помощью формулъ для такъ называемой «призмы Wilski»; однако такой способъ довольно сложенъ и утомителенъ, почему нѣкоторыми авторами указывается нѣсколько иной, который мы предварительно и разсмотримъ въ общихъ чертахъ.

Крѣпостныя сооруженія, какъ извѣстно, проектируются въ предположеніи, что мѣстность представляетъ горизонтальную, или наклонную плоскость, или же рядъ таковыхъ пересѣкающихся плоскостей.

Подобная плоскость P_0 (фиг. 34), одна, или система ихъ называется **основной** плоскостью и отдѣляетъ части сооруженія, имѣющія характеръ насыпей (N) отъ вые-

Фиг. 34.

мокъ (V), такимъ образомъ, что **объемы насыпей и выемокъ находятся въ опредѣленномъ соотношеніи, чаще всего—равны одна другой.**

Какова бы ни была основная плоскость, необходимо опредѣлить ея положеніе въ данной мѣстности, конфигурація которой часто бываетъ довольно сложной, представляя рядъ возвышенностей и углубленій.

Задача, очевидно, заключается въ раздѣленіи даннаго участка мѣстности по направленію P_n (фиг. 35), параллельно основной плоскости—такимъ образомъ, чтобы кубатуры выемокъ и насыпей оказались въ требуемомъ проектомъ соотношеніи.

Такая—раздѣляющая данную мѣстность и параллельная основной—плоскость называется «**нормальной**», и если она опредѣлена точно, то очевидно совпадаетъ съ плоскостью основной.

Расчетъ положенія нормальной плоскости принято дѣлать слѣдующимъ образомъ:

Данная мѣстность ABCD (фиг. 35) снимается обыкновенно квадратами, т. е. вмѣстѣ съ планомъ опредѣляются нивелировочныя отмѣтки—сначала всѣхъ вершинъ квадратовъ—h_1', h_2' .... h_1'', h_2'' и т. д., а затѣмъ по четыремъ отмѣткамъ каждаго квадрата—отмѣтки центровъ квадратовъ, какъ среднія ариѳметическія изъ взятыхъ четырехъ, т. е. H_1', H_2' . . . . и т. д.

Наконецъ, если нормальная (какъ и основная) плоскость горизонтальна, то ея отмѣтка H находится, какъ средняя ариѳметическая изъ всѣхъ полученныхъ, т. е.:

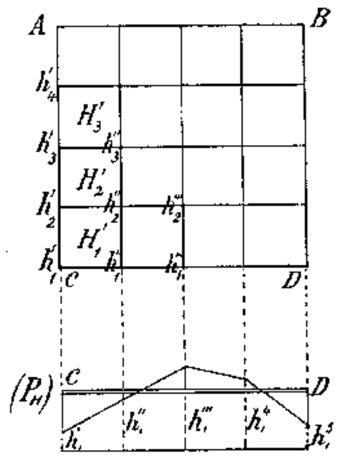
$$H = \frac{H_1' + H_2' + \ldots H_1'' + H_2'' + \ldots}{n},$$

гдѣ n—число квадратовъ [1]).

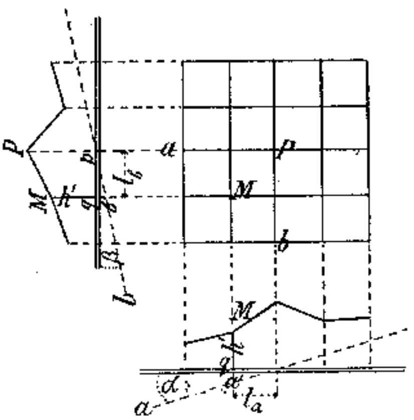
Полученный результатъ представляетъ рѣшеніе вопроса въ томъ случаѣ, когда и въ проектѣ предполагается равенство работъ—насыпей (N) и выемокъ (V); если-же, напримѣръ, $N > V$, при чемъ излишекъ долженъ быть взятъ съ данной же площади изъ выемокъ, то для увеличенія послѣднихъ отмѣтка нормальной плоскости H должна быть понижена на нѣкоторую высоту ΔH; послѣдняя опредѣляется изъ отношенія

$$\Delta H = \frac{N - V}{S},$$

гдѣ S есть величина площади сооруженія. Въ случаѣ $V > N$ производится подобный-же расчетъ.



Фиг. 35.



Фиг. 36.

Если основная плоскость наклонена къ горизонту подъ углами α и β, то задаются нѣкоторой параллельной ей плоскостью, принимаемой за условный горизонтъ, относительно котораго пересчитываются нивеллировочныя отмѣтки вершинъ квадратовъ. Координатами положенія задаваемой наклонной плоскости (условнаго горизонта) являются двѣ пересѣкающіяся прямыя (pa) и (pb), (фиг. 36), проходящія черезъ постоянную точку (p), представляющую, въ свою очередь, проекцію одной изъ вершинъ квадрата на плоскость горизонтальнаго уровня нивеллировки.

Отмѣтка (h) любой вершины квадрата, н. п., M найдется тогда какъ сумма (фиг. 36):

$$h = h' + qa' + qb' = h' + l_a \cdot \operatorname{tg} \alpha + l_b \cdot \operatorname{tg} \beta;$$

и такъ какъ величины (qa') и (qb') могутъ имѣть и положительныя и отрицательныя значенія, то вообще

$$h = h' \pm l_a \cdot \operatorname{tg} \alpha \pm l_b \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

[1]) Указываемый расчетъ положенія нормальной плоскости вообще не приводитъ къ совпаденію ея съ плоскостью основной.

Средняя ариѳметическая изъ вычисленныхъ такимъ образомъ отмѣтокъ опредѣлитъ приблизительное положеніе нормальной плоскости.

Когда сооруженіе занимаетъ большую площадь и мѣстность имѣетъ различные уклоны, то она дѣлится, обыкновенно, на участки, для каждаго изъ которыхъ опредѣляется основная и нормальная плоскость особо. При этомъ края смежныхъ нормальныхъ плоскостей, вообще говоря, не совпадаютъ, а располагаются параллельными линіями въ вертикальныхъ плоскостяхъ; уничтоженіе такихъ уступовъ высотою ($\triangle h$) между каждой парой плоскостей достигается тѣмъ, что одну изъ нихъ параллельно опускаютъ на величину (x), а другую такъ-же приподнимаютъ на ($\triangle h - x$) такимъ образомъ, чтобы приращеніе объема сооруженія, имѣющаго площадь (S_1), покрывало уменьшеніе объема смежнаго сооруженія съ площадью (S_2).

Величина (x) находится изъ соотношенія:

$$S_1 x = S_2 (\triangle h - x),$$

откуда

$$x = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \cdot \triangle h .$$

Перемѣщеніе производится послѣдовательно для каждой пары плоскостей, пока всѣ уступы не будутъ уничтожены.

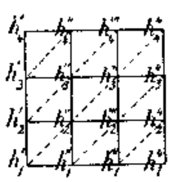
Указанное приблизительное опредѣленіе сѣкущей плоскости не даетъ еще возможности найти абсолютное значеніе объемовъ насыпей, или выемокъ, для чего прибѣгаютъ нерѣдко къ совершенно грубымъ по точности пріемамъ [1]), чтобы избѣжать графическихъ построеній и сложныхъ поправокъ.

Въ виду либо грубой приближенности расчетовъ, либо невозможности извѣстными до сего времени способами опредѣлять непосредственнымъ расчетомъ желательное положеніе проектной плоскости, а также учитывать разрыхляемость и уплотняемость грунтовъ,—въ виду этого считаю не безполезнымъ привести здѣсь способъ расчета, если и требующій нѣсколько бóльшей затраты времени противъ «простѣйшаго» [1]), то зато значительно болѣе точный и общій; основаніемъ для такого предложенія является убѣжденіе, что болѣе крупный выигрышъ въ точности и объемѣ расчета гораздо цѣннѣе затраты лишняго часа—двухъ времени; особенно въ тѣхъ случаяхъ, когда каждый кубъ земляныхъ работъ обходится не даромъ, а излишекъ времени на расчетъ слишкомъ ничтоженъ въ сравненіи съ тѣмъ, которое требуется на самое сооруженіе.

---

1. Отысканіе точнаго положенія нормальной плоскости.

Пусть дана сѣть m квадратовъ инженерной съемки (фиг. 37), съ данными отмѣтками h_1', h_2' . . . . и т. д. вершинъ квадратовъ.



Фиг. 37.

[1]) См. «Земляныя работы», проф. В. И. Курдюмовъ.

Проведемъ показанныя пунктиромъ линіи, чтобы получить рядъ треугольниковъ, числомъ (2m), и замѣтимъ, что 1) у центральныхъ вершинъ квадратовъ, т. е., h_2'', h_3'', h_2''' и h_3''' — оказывается по 6-ти такихъ треугольниковъ; 2) у 2-хъ крайнихъ вершинъ h_1' и h_4^4 — по два; 3) у другихъ двухъ крайнихъ—по одному и, наконецъ, 4) у всѣхъ остальныхъ по 3.

Если обозначимъ площадь одного изъ равныхъ треугольниковъ черезъ (ω), то объемъ (V) любой трехгранной призмы найдется по формулѣ:

$$V = \frac{1}{3}\,\omega\,(h_1 + h_2 + h_3) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (164)$$

гдѣ h_1, h_2 и h_3—отмѣтки вершинъ треугольника (или, что тоже,—трехъ вершинъ квадрата) относительно горизонтальнаго или наклоннаго уровня, выбраннаго такъ, чтобы отмѣтки были положительны.

Составляя выраженіе всѣхъ (2m) объемовъ и складывая ихъ легко замѣтить, что любая отмѣтка вершины квадрата повторяется ровно столько разъ сколько треугольниковъ смыкается у вершины; въ виду этого выраженіе объема можно написать въ слѣдующей формѣ:

$$V = \frac{1}{3}\,.\,\omega\,.\Big[1(h_4' + h_1^4) + 2(h_1' + h_4^4) + 3(h_2' + h_3' + h_4'' + h_4''' + h_3^4 + h_2^4 + h_1''' + h_1'') + 6(h_3'' + h_3''' + h_2''' + h_2'')\Big]; \quad \ldots \quad (165).$$

Условившись же обозначать любую отмѣтку буквой (h) съ индексомъ, указывающимъ число собранныхъ у нея треугольниковъ, т. е., h_1, h_2, h_3 и h_6 — объемъ можно выразить болѣе сокращенно:

$$V = \frac{1}{3}\,\omega\,(\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 6\Sigma h_6)\ ^{1)} \quad \ldots\ldots (165\ \text{bis}).$$

Имѣя объемъ весьма просто находимъ отмѣтку y (въ принятомъ же горизонтѣ) положенія нормальной плоскости изъ уравненія:

$$V = \frac{1}{3}\,\omega(\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 6\Sigma h_6) = 2m\,.\,\omega\,.\,y\,, \ldots$$

откуда

$$y = \frac{(\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 6\Sigma h_6)}{6m} \quad \ldots\ldots \quad (166).$$

Разъ найдено (y) легко 1) вычислить въ каждой вершинѣ квадрата рабочую отмѣтку, т. е., высоту насыпи или глубину выемки по формулѣ

$$\pm (y - h),$$

и 2) — найти предѣльное очертаніе въ планѣ насыпей и выемокъ (нулевую линію), для чего на сторонѣ треугольника находится точка перехода изъ насыпи въ выемку или наоборотъ.

---

[1]) Само собою разумѣется, что дѣленіе на треугольники можно произвести какъ угодно измѣнивъ сообразно дѣленію коэффиціенты числа Δ-овъ у вершинъ.

Для примѣра возьмемъ сѣть квадратовъ, съ нивеллировочными (такъ называемыми «черными») отмѣтками, показанными у вершинъ на фиг. 38.

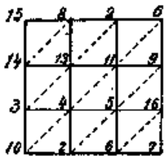
Объемъ V согласно выраженію (165) равенъ:

$$V = \frac{1}{3}.\omega\left[(15+7)+2(10+6)+3(8+2+9+16+6+2+3+14)+6(13+11+4+5)\right],$$

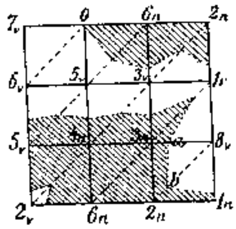
$$\text{или } V = \frac{1}{3}\omega.432\,;$$

такъ какъ $m = 9$, то по уравненію (166) находимъ:

$$y = \frac{432}{6.9} = 8.$$



Фиг. 38.



Фиг. 39.

По даному (y) вычислены рабочія отмѣтки [1]) и показана нулевая линія на фиг. 39, гдѣ площадь насыпи заштрихована.

2. Вычисленіе объемовъ.

Какъ видѣли выше, значеніе (y) даетъ такое положеніе нормальной плоскости, при которомъ объемы насыпей и выемокъ равны [2]), но остается неизвѣстной численная ихъ величина.

Эта послѣдняя можетъ быть опредѣлена на основаніи простѣйшихъ геометрическихъ формулъ [3]).

Такъ, объемъ насыпи (V) при рабочихъ отмѣткахъ 6_n, 4_n и 3_n (фиг. 39) и площади (ω) равенъ:

$$V = \frac{1}{3}\ \omega\ (6+4+3) = 4^1/_3\ \omega \text{ кубовъ} \ldots\ldots\ldots \quad (167).$$

Если бы мы взяли «смѣшанный» [4]), а не «чистый» треугольникъ, напр., ($3_n\, 8_v\, 2_n$) гдѣ заштрихованная часть представляетъ насыпь, а остальная—выемку, и примѣнили бы къ нему ту же (167) формулу, то получили-бы:

$$V_s = \frac{1}{3}\ \omega\,(3 - 8 + 2) = -\frac{3}{3}\omega = -\omega \text{ куб.} \ldots\ldots\ldots \quad (168).$$

Подобный результатъ вообще показываетъ величину превышенія однѣхъ работъ надъ другими, при чемъ знакъ (—) или (+) поясн-

[1]) Съ знакомъ (n) для насыпей а (v) для выемокъ.

[2]) Если при этомъ не принимать во вниманіе разрыхляемость выемокъ и уплотняемость насыпей.

[3]) При равенствѣ выемокъ и насыпей очевидно достаточно опредѣлить только одну изъ кубатуръ.

[4]) Будемъ называть треугольники съ чистымъ объемомъ насыпи или выемки—**чистыми**, треугольники же, совмѣщающіе и насыпь и выемку—**смѣшанными**.

няетъ, какихъ именно работъ; такъ, для взятаго примѣра оказывается, что количество выемки превышаетъ количество насыпи въ предѣлахъ взятаго треугольника на $V_s = (\omega)$ кубовъ. Зная величину превышенія однѣхъ работъ надъ другими нетрудно найти дѣйствительныя ихъ количества; въ самомъ дѣлѣ: такъ какъ смѣшанный треугольникъ, напр., $(3_n 8_v 2_n)$ всегда состоитъ изъ двухъ частей: треугольной $(a8_v b)$, (фиг. 39), и четыреугольной [1] $(3_n ab2_n)$, то опредѣлимъ тотъ объемъ, который выражается особенно просто; такимъ въ нашемъ примѣрѣ будетъ объемъ съ площадью треугольничка $(a8_v b)$, а именно: если площадь этого треугольничка равна (ω'), то при рабочихъ отмѣткахъ 0; 0 и —8 объемъ (V') выемки будетъ равенъ:

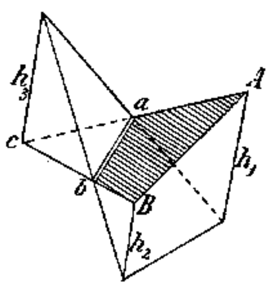
$$V' = \frac{1}{3}\omega' . (0 + 0 - 8) = -\frac{8}{3}\omega' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (169).$$

На основаніи (168) и (169) теперь легко найти и смежный объемъ насыпи (при площади четыреугольника $3_n ab2_n$) слѣдующимъ образомъ: если въ смѣшанномъ треугольникѣ найдено, что выемокъ больше чѣмъ насыпей на $(\omega) = (V_s)$ кубовъ, численное же количество выемки равно $(V') = \left(\frac{8}{3}\omega'\right)$ кубовъ, то количество насыпи (V'') найдется изъ равенства (при абсолютныхъ значеніяхъ членовъ его):

$$V'' = (V' - V_s) \text{ кубовъ [2]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (170).$$

При опредѣленіи величины объема (V') въ формулѣ (169) можно пользоваться либо графическимъ пріемомъ (измѣряя площадь непосредственно на фигурѣ), либо слѣдующими выкладками.

Изъ отношенія (фиг. 40)



Фиг. 40.

$$\frac{\text{пл. }(acb)}{\text{пл. }(AcB)} = \frac{\omega'}{\omega} = \frac{(ac) . (bc)}{(Ac) . (Bc)},$$

имѣемъ:

$$\omega' = \frac{(ac) . (bc)}{(Ac) . (Bc)} . \omega;$$

но

$$\frac{(ac)}{(Ac)} = \frac{h_3}{(h_1 + h_3)} \text{ и } \frac{(bc)}{(Bc)} = \frac{h_3}{(h_2 + h_3)},$$

---

[1]) Въ частныхъ случаяхъ обѣ части треугольныя.

[2]) Положивъ для даннаго примѣра $\omega = 10$ и $\omega' = 6$ находимъ: выемокъ $>$ нежели насыпей на $V_s = \omega = 10$ кубовъ; количество выемки $= V' = \frac{6.8}{3} = 16$ куб. и слѣдовательно количество насыпи V'' равно $16 - 10 = 6$ кубовъ.

поэтому

$$\omega' = \frac{h_3^2}{(h_1 + h_3)(h_2 + h_3)} \cdot \omega\,, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (171).$$

и объемъ

$$V' = \frac{1}{3}\,\omega'\,h_3 = \frac{1}{3}\,\omega \cdot \frac{(h_3)^3}{(h_1 + h_3)(h_2 + h_3)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (172).$$

при чемъ отмѣтки h_1, h_2 и h_3 имѣютъ абсолютное значенiе.

Для взятаго примѣра, положивъ $h_3 = 8$, $h_1 = 3$, $h_2 = 2$ и $\omega = 10$ находимъ:

$$V' = \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \frac{512}{(11) \cdot (10)} = 15{,}51 \text{ куб. выемки.}$$

3. Рѣшенiе вопроса о любой комбинацiи земляныхъ работъ.

Если необходимо спроектировать земляное полотно такимъ образомъ, чтобы получить желаемое соотношенiе въ работахъ, напр., равенство выемокъ и насыпей, или же превышенiе однѣхъ надъ другими на (А) кубовъ, то это не представляетъ никакихъ затрудненiй, особенно, если еще не принимать во вниманiе коэффицiенты разрыхленiя выемокъ и уплотненiя насыпей [1]).

Въ самомъ дѣлѣ, мы видѣли уже (§ 1), что полное равенство работъ (транспортность ихъ) находится при отмѣткѣ (у) по уравненiю (166).

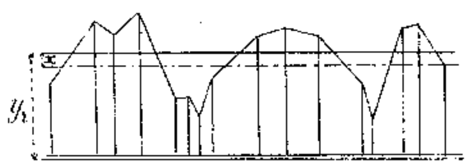
Что же касается всякой другой комбинацiи, то она рѣшается слѣдующимъ образомъ.

Пусть найдено уже значенiе $(y) = y_r$, удовлетворяющее условiю транспортности работъ;

оказывается же необходимымъ спроектировать выемокъ болѣе нежели насыпей на (А) кубовъ;

тогда, обозначая черезъ (х) искомую высоту перемѣщенiя нормальной плоскости, считая отъ (y_r), (фиг. 41) найдемъ:

$$x = -\frac{A}{2m \cdot \omega} = -\frac{A}{\Omega} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (173)$$



Фиг. 41.

гдѣ m—число квадратовъ мѣстности, а 2ω—площадь одного изъ нихъ, и слѣдовательно, Ω есть полная площадь данной мѣстности. Знакъ «минусъ» соотвѣтствуетъ случаю превышенiя выемокъ надъ насыпями, когда отмѣтка (y_r) понижается на величину (х); знакъ «плюсъ» берется въ обратномъ случаѣ.

Выраженiе (173) основывается на слѣдующихъ соображенiяхъ:

[1]) Впрочемъ и въ этомъ случаѣ расчетъ, какъ увидимъ, усложняется крайне незначительно.

1) насыпь, выраженная формулой:

$$v_n = \frac{\omega}{3}(h_1 + h_2 + h_3)$$

съ повышеніемъ проектной (нормальной) плоскости на величину (x) принимаетъ значеніе:

$$v_n^x = \frac{\omega}{3}[(h_1 + x) + (h_2 + x) + (h_3 + x)] = v_n + \omega x; \quad \ldots \ldots \quad (174)$$

равнымъ образомъ, если насыпь выражается формулой

$$v_n = \frac{\omega}{3}(h_1 + h_2 - h_3),$$

или

$$v_n = \frac{\omega}{3}(h_1 - h_2 - h_3),$$

формула v_n^x остается прежней, т. е.

$$v_n^x = v_n + \omega . x \text{ [1]}$$

2) Для всѣхъ случаевъ выемокъ можетъ быть получено совершенно аналогичное выраженіе:

$$v_v^x = v_v - \omega x \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (175).$$

Если въ планѣ имѣется (S_n) треугольниковъ чистой насыпи, (S_v) треугольниковъ чистой выемки и (S_s) смѣшанныхъ треугольниковъ, то приращеніе объемовъ насыпей и выемокъ, т. е. ($\triangle V_n^x$) и ($\triangle V_v^x$) можетъ быть написано въ слѣдующемъ видѣ:

$$\triangle V_n^x = S_n . \omega . x + S_s . \omega . x \text{ [2]} \quad \ldots \ldots \quad (176)$$

и

$$\triangle V_v^x = - S_v . \omega . x; \quad \ldots \ldots \ldots \quad (177)$$

Имѣя подобныя выраженія вопросъ о превышеніи однѣхъ работъ надъ другими, напр., для взятаго выше случая, рѣшается уравненіемъ:

$$\triangle V_v^x - \triangle V_n^x = A,$$

или

$$(- S_v \omega x) - (+ S_n \omega x + S_s \omega x) = A, \quad \ldots \ldots \quad (178)$$

изъ котораго находимъ:

$$x = \frac{-A}{(S_v \omega + S_n \omega + S_s \omega)};$$

но такъ какъ

$$S_n \omega + S_n \omega + S_s \omega = (S_n + S_v + S_s)\omega = 2m\omega = \Omega,$$

---

[1]) Слѣдуетъ однако помнить, что въ первомъ случаѣ, т. е., когда формула v_n выражаетъ действительный объемъ насыпи, а не величину превышенія ея надъ выемкой (какъ въ двухъ другихъ случаяхъ),—слѣдуетъ помнить въ этомъ случаѣ, что и членъ (ωx) въ выраженіи (174) представляетъ приращеніе дѣйствительнаго объема, тогда какъ въ другихъ случаяхъ членъ (ωx) указываетъ, насколько возрастаетъ величина превышенія.

[2]) Членъ ($S_s \omega x$) можетъ быть отнесенъ либо къ насыпямъ (съ плюсомъ), либо къ выемкамъ (съ минусомъ).

то

$$x = -\frac{A}{\Omega},$$

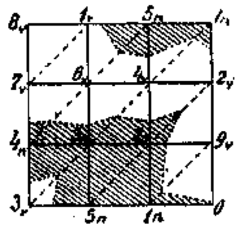
что и дано было выше.

Полагая для примѣра (фиг. 39):

$$\omega = 10 \text{ кв. с.}; \; 2m = 18 \text{ и } A = 180 \text{ куб. с.}$$

находимъ, что

$$x = -\frac{180}{180} = -1{,}00;$$



Фиг. 42.

пересчитавъ отмѣтки, получимъ цифры, показанныя на фиг. 42.

Чтобы убѣдиться въ правильности расчета сдѣлаемъ вычисленіе по формулѣ (165), которая, въ самомъ дѣлѣ, дастъ:

$$V = \frac{10}{3}\Big[(-8) + 2(-3+1) + 3(-1+5-2-9+1+5+4-7) + 6(-6-4+ \\ +2+3)\Big],$$

или

$$V = -180 \text{ куб. саж.},$$

что и указываетъ, что выемки превышаютъ насыпь на 180 кубовъ.

4. Выводъ выраженій объемовъ въ функціи отъ x. Вліяніе разрыхляемости и уплотняемости грунтовъ.

Когда расчетъ требуетъ особой точности, необходимо имѣть въ виду коэффиціенты разрыхленія грунтовъ выемокъ и уплотненія насыпей [1]).

Формулы (176) и (177) въ такомъ случаѣ должны быть нѣсколько преобразованы, на основаніи данныхъ, изложенныхъ ниже.

Прежде всего необходимо знать численную величину объемовъ

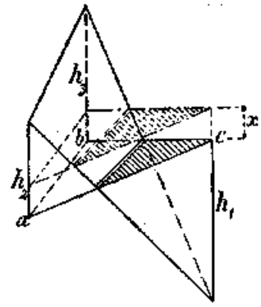
$$V_n = V_v,$$

которая опредѣляется извѣстнымъ уже намъ способомъ (см. § 2).

Члены $(S_n \omega x)$ и $(S_v \omega x)$ сохраняютъ и въ дальнѣйшемъ свое значеніе и мѣсто, которое они занимали въ выраженіяхъ (176) и (177).

[1]) О коэффиціентахъ см. «Новѣйшіе способы и таблицы для скораго и точнаго подсчета объемовъ земляныхъ работъ при любой ширинѣ полотна, откосахъ и поперечныхъ склонахъ», инж. Вяч. Яцына.

Что же касается члена ($S_8 \omega x$), то слѣдуетъ разсмотрѣть его болѣе детально. Пусть имѣемъ одинъ изъ (S_8) смѣшанныхъ треугольниковъ (abc), фиг. 43.



Фиг. 43.

Если объемъ насыпи при отмѣткѣ (h_1) равенъ V_n', то съ повышеніемъ проектной плоскости на высоту (x) объемъ увеличится до $(V_n')^x$, при чемъ:

$$\frac{V_n'}{(V_n')^x} = \frac{h_1^3}{(h_1+x)^3},$$

откуда

$$(V_n')^x = V_n' \cdot \left(\frac{h_1+x}{h_1}\right)^3 = V_n' \left[1 + 3\left(\frac{x}{h_1}\right) + 3\left(\frac{x}{h_1}\right)^2 + \left(\frac{x}{h_1}\right)^3\right] \cdots \quad (178).$$

или

$$(V_n')^x = V_n' + \Delta V_n' \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (178 \text{ bis}).$$

Такъ какъ полное приращеніе объема въ предѣлахъ площади (ω) равно (ωx), приращеніе же объема насыпи равно $\Delta V_n'$, то приращеніе смежнаго объема выемки $\Delta V_v''$ будетъ равно:

$$\Delta V_v'' = \omega x - \Delta V_n' = \omega x - V_n' \left[3\left(\frac{x}{h_1}\right) + 3\left(\frac{x}{h_1}\right)^2 + \left(\frac{x}{h_1}\right)^3\right] \cdots \quad (179).$$

и полный объемъ:

$$(V_v'')^x = V_v'' - \left\{\omega x - V_n' \left[3\left(\frac{x}{h_1}\right) + 3\left(\frac{x}{h_1}\right)^2 + \left(\frac{x}{h_1}\right)^3\right]\right\} \cdots\cdots \quad (180).$$

Если-бы (h_1) была отмѣткой выемки, то совершенно такъ же получили бы, что съ повышеніемъ проектной плоскости на (x) объемъ выемки (V_v') принялъ бы значеніе $(V_v')^x$, равное:

$$(V_v')^x = V_v' \left[1 - 3\left(\frac{x}{h_1}\right) + 3\left(\frac{x}{h_1}\right)^2 - \left(\frac{x}{h_1}\right)^3\right],$$

или

$$(V_v')^x = V_v' - V_v' \left[3\left(\frac{x}{h_1}\right) - 3\left(\frac{x}{h_1}\right)^2 + \left(\frac{x}{h_1}\right)^3\right] = V_v' - \Delta V_v' \cdots \quad (181).$$

приращеніе же объема насыпи выразилось бы:

$$\Delta V_n'' = (\omega x - \Delta V_v') = \omega x + V_v' \left[-3\left(\frac{x}{h_1}\right) + 3\left(\frac{x}{h_1}\right)^2 - \left(\frac{x}{h_1}\right)^3\right] \cdot \quad (182).$$

и полный объемъ послѣдней $(V_n'')^x$:

$$(V_n'')^x = V_n'' + \Delta V_n'' = V_n'' + \left\{\omega x + V_v' \left[-3\left(\frac{x}{h_1}\right) + 3\left(\frac{x}{h_1}\right)^2 - \left(\frac{x}{h_1}\right)^3\right]\right\} \cdot \quad (183).$$

Сложивши порознь всѣ выемки и насыпи съ ихъ приращеніями (въ предѣлахъ всей сѣти квадратовъ) получимъ слѣдующія выраженія:

для насыпи

$$V_n^x = [V_n + N_n \omega x + (\alpha x + \beta x^2 + \gamma x^3).] \quad \text{(184)}.$$

и для выемки:

$$V_v^x = [V_v - N_v \omega x + (\alpha x + \beta x^2 + \gamma x^3] \quad \text{(185)}.$$

Входящія сюда буквы N_n, N_v, α, β и γ имѣютъ слѣдующія значенія:

1) N_n — есть число всѣхъ чистыхъ треугольниковъ насыпи плюсъ число же четыреугольныхъ частей ея въ треугольникахъ смѣшанныхъ; обозначивъ число первыхъ черезъ (N_n^t) и число послѣднихъ черезъ (N_n^r) будемъ, поэтому, имѣть:

$$N_n = (N_n^t + N_n^r) \quad \text{(186)}.$$

и

$$N_n \,.\, \omega = (N_n^t + N_n^r)\,\omega \quad \text{(186 bis)}.$$

2) Точно также N_v — есть число всѣхъ чистыхъ треугольниковъ выемки плюсъ число четыреугольныхъ ея частей въ треугольникахъ смѣшанныхъ, или

$$N_v = (N_v^t + N_v^r) \quad \text{(187)}.$$

и

$$N_v \,.\, \omega = (N_v^t + N_v^r)\,.\,\omega \quad \text{(187 bis)}.$$

3) Коэффиціентъ (α) равенъ:

$$\alpha = 3\left[\Sigma\left(\frac{V_n{}'}{h_n}\right) - \Sigma\left(\frac{V_v{}'}{h_v}\right)\right] \quad \text{(188)}.$$

Но такъ какъ

$$\left.\begin{array}{l} V_n{}' = \frac{1}{3}\,\omega_n{}'\,.\,h_n \text{ [1]} \\ \text{и} \\ V_v{}' = \frac{1}{3}\,\omega'_v\,.\,h_v \end{array}\right\} \quad \text{(189)},$$

то

$$\alpha = 3\left[\Sigma\left(\frac{V_n{}'}{h_n}\right) - \Sigma\left(\frac{V_v{}'}{h_v}\right)\right] = (\Sigma\omega_n{}' - \Sigma\omega_v{}') \quad \text{(190)}.$$

Соединяя (186 bis) съ (190) получимъ:

$$(N_n\omega + \alpha) = (N_n^t\omega + N_n^r\omega) + (\Sigma\omega_n{}' - \Sigma\omega_v{}') \quad \text{(191)}.$$

Но число треугольныхъ частей выемки равно числу четыреугольныхъ частей насыпи; поэтому величина

$$N_n^r\,.\,\omega - \Sigma(\omega_v{}') = Q_n^r$$

представляетъ площадь всѣхъ четыреугольныхъ частей насыпи въ смѣшанныхъ $\Delta\Delta$-хъ.

Членъ $\Sigma\omega_n{}'$ есть такая же площадь, но всѣхъ треугольныхъ частей, слѣдовательно, выраженіе $(N_n\omega + \alpha)$ равно полной площади насыпей (Q_n), т. е.

$$(N_n\omega + \alpha) = N_n^t\omega + Q_n^r + \Sigma\omega_n{}' = Q_n \quad \text{(192)}.$$

[1]) $\omega_n{}'$ — треугольная площадь насыпи смѣшанныхъ треугольниковъ, соотвѣтствующая объему $(V_n{}')$; $\omega_v{}'$ — то же для $(V_v{}')$.

Точно такъ же находимъ, что $(-N_v\omega+\alpha)$ *равно полной площади выемокъ* (Q_v), взятой съ минусомъ, т. е.:

$$-N_v\omega+\alpha=N_v^t-N_v^r\omega+\Sigma\omega_n{}'-\Sigma\omega_v{}'=-Q_v \quad \ldots\ldots\ldots \quad (193).$$

Такимъ образомъ съ помощью приведенныхъ соображенiй выраженiямъ (184) и (185) можно дать болѣе удобный и красивый видъ, а именно:

$$V_n^x=V_n+Q_n x+\beta x^2+\gamma x^3 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (194)$$

и

$$V_v^x=V_v-Q_v x+\beta x^2+\gamma x^3 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (195).$$

4) Коэффицiенты β и γ имѣютъ слѣдующiя значенiя:

$$\beta=3\left[\Sigma\left(\frac{V_n{}'}{h_n{}^2}\right)+\Sigma\left(\frac{V_v{}'}{h_v{}^2}\right)\right]=\left(\Sigma\frac{\omega_n{}'}{h_n}+\Sigma\frac{\omega_v{}'}{h_v}\right) \quad \ldots\ldots \quad (196).$$

и

$$\gamma=\left[\Sigma\left(\frac{V_n{}'}{h_n{}^3}\right)-\Sigma\left(\frac{V_v{}'}{h_v{}^3}\right)\right]=\frac{1}{3}\left(\Sigma\frac{\omega_n{}'}{h_n{}^2}-\Sigma\frac{\omega_v{}'}{h_v{}^2}\right) \quad \ldots\ldots \quad (197).$$

Относительно этихъ коэффицiентовъ слѣдуетъ замѣтить, что члены, содержащiе *ихъ, не оказываютъ почти никакого влiянiя на результатъ практическаго расчета;*

въ исключительныхъ же случаяхъ, когда требуется или особенная точность, или коэффицiенты разрыхленiя выемокъ и уплотненiя насыпей слишкомъ разнятся между собою [1]),—полезно имѣть въ виду выраженiя (194) и (195) въ ихъ полномъ значенiи, или, по крайней мѣрѣ—включительно до βx^2.

Итакъ, для практическихъ цѣлей можемъ остановиться окончательно на слѣдующихъ сокращенныхъ выраженiяхъ:

$$V_n{}^x=V_n+Q_n x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (198).$$

и

$$V_v{}^x=V_v-Q_v x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (199).$$

Входящiя сюда величины площадей или вычисляются по простѣйшимъ геометрическимъ формуламъ, или же проще—опредѣляются планиметромъ.

Имѣя выраженiя $V_n{}^x$ и $V_v{}^x$ нетрудно уже рѣшить вопросъ о любой комбинацiи работъ (т. е. транспортности, minimum'ѣ и пр.) и въ томъ случаѣ, когда необходимо принять во вниманiе разрыхляемость выемокъ и уплотненiе насыпей.

Обозначая коэффицiентъ разрыхленiя черезъ (k_v) [2]),

а таковой-же уплотненiя насыпей » (k_n)

находимъ, что объемъ разрыхленной выемки будетъ равенъ

$$V_v^x\,.\,(1+k_v)=(V_v-Q_v x)\,.\,(1+k_v) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (200)$$

а объемъ насыпи съ приданнымъ излишкомъ на уплотненiе:

$$V_n{}^x\,.\,(1+k_n)=(V_n+Q_n x)\,.\,(1+k_n) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (201).$$

Если задачей является проектированiе A лишнихъ кубовъ уплотненной насыпи, которая должна быть взята изъ выемокъ, то это рѣшается весьма просто уравненiемъ:

---

[1]) Это послѣднее замѣчанiе основывается на приведенномъ далѣе уравненiи (202) и ему подобныхъ.

[2]) Въ $^0/_0$ отъ начальнаго объема.

$$(1+k_v)V_v^x-(1+k_n)V_n^x=(V_v-Q_v x)(1+k_v)-(V_n+Q_n x)(1+k_n)=$$
$$=A(1+k_n) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (202).$$

или

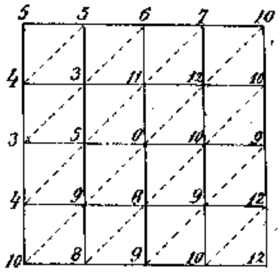
$$[V_v(1+k_v)-(V_n+A)(1+k_n)]-[Q_v(1+k_v)+Q_n(1+k_n)]x=0, \quad (203)$$

откуда

$$x=\frac{[V_v(1+k_v)-(V_n+A)(1+k_n)]}{[Q_v(1+k_v)+Q_n(1+k_n)]} \quad \ldots\ldots \quad (204).$$

Возьмемъ для примѣра сѣть $2m=16$ квадратовъ (фиг. 44), при чемъ площадь каждаго полуквадрата ω равна:

$$\omega=10,00 \text{ кв. с.}$$



Фиг. 44.

и слѣдовательно вся площадь равна Q:

$$Q=2m.\omega=320 \text{ кв. саж.}$$

Нивеллировочныя отмѣтки показаны цифрами у вершинъ квадратовъ.

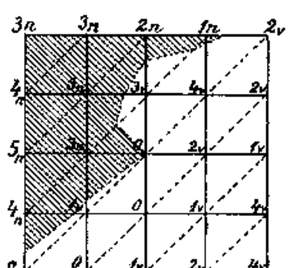
Опредѣляя отмѣтку положенія нормальной плоскости, т. е. (y), составляемъ уравненіе (166):

$$y=\frac{(5+12)+2(10+10)+3(5+6+7+10+9+12+10+9+8+4+3+4)+6(3+11+12+5+8+10+9+8+9)}{6.16}$$

или

$$y=\frac{17+40+3(87)+6(75)}{96}=\frac{768}{96}=8,00 \text{ саж.}$$

По найденному (y) вычисляемъ новыя отмѣтки и нулевую линію, показанныя на фиг. 45, гдѣ площадь насыпи заштрихована.



Фиг. 45.

Вычисляя затѣмъ объемы, получимъ слѣдующія величины:

$$V_n=V_v=314,95 \text{ куб. саж.}$$

Кромѣ того, **площадь** насыпи равна (по порядку слѣва направо горизонтальными рядами:

$$Q_n = (10+10+10+7{,}75+5{,}50+0{,}45+0{,}66) + (10+10+8{,}60+5) + (10+9{,}55+ + 7{,}50)+5{,}33,$$

или

$$Q_n = 110{,}34 \text{ кв. саж.},$$

и слѣдовательно,

$$Q_v = 320{,}00 - 110{,}34 = 209{,}66 \text{ кв. с.}$$

Пусть теперь требуется такъ перепроектировать мѣстность, чтобы получить изъ выемокъ лишнихъ $A = (296{,}30)(1+k_n)$ кубовъ земли; при этомъ даны:

коэффиціентъ разрыхленія выемокъ $k_v = 0{,}14$
и » уплотненія насыпей $k_n = 0{,}08$;

рѣшая уравненіе (203):

$$V_v^x (1+k_v) - V_n^x (1+k_n) = 1{,}14(314{,}95 - 209{,}66\ x) - 1{,}08(314{,}95 + 110{,}34\ x) = = 296{,}30(1{,}08),$$

или

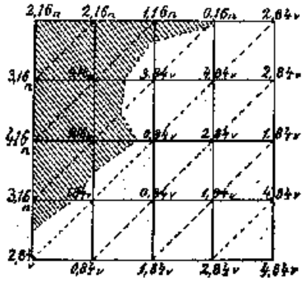
$$358{,}19\ x + 301{,}10 = 0,$$

находимъ

$$x = -0{,}84.$$

Чтобы убѣдиться въ правильности расчета сдѣлаемъ подробное вычисленіе.

Пересчитавъ отмѣтки надпишемъ ихъ въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ (фиг. 46) и проведемъ нулевую линію.



Фиг. 46.

Вычисляя затѣмъ объемъ насыпи получимъ слѣдующія цифры (считая по порядку слѣва направо горизонтальными рядами):

$$V_n^x = [(24{,}93+31{,}60+24{,}93+9{,}65+1{,}04) + (38{,}27+34{,}93+12{,}20+1{,}87) + (31{,}60 + + 12{,}64+2{,}80) + 3{,}51],$$

или

$$V_n^x = 229{,}97 \text{ кб. с.}$$

Для опредѣленія кубатуры выемки удобнѣе воспользоваться тѣмъ закономъ, что **съ перемѣщеніемъ нормальной плоскости на величину** (x) **превышеніе однѣхъ работъ надъ другими увеличивается на** $2m\omega x$, гдѣ $2m\omega$, какъ извѣстно, **общая площадь** и въ нашемъ случаѣ равна 320 кв. саж.;

слѣдовательно, при $x = -0{,}84$ превышеніе выемокъ надъ насыпями, или $(V_v^x - V_n^x)$ будетъ равно:

$$V_v^x - V_n^x = (320)\,.\,0{,}84 = 268{,}80 \text{ куб. с.}$$

и кубатура выемки выразится цифрой:

$$V_v^x = 229,97 + 268,80 = 498,77 \text{ куб. саж.}$$

Вслѣдствіе разрыхленія объемъ выемки приметъ значеніе

$$(1 + k_v)\, V_v^x = (498,77)\,.\,(1,14) = 568,60 \text{ куб. с.}$$

Точно также объемъ насыпи съ излишкомъ его на уплотненіе будетъ:

$$(1 + k_n)\, V_n^x = 1,08\,.\,(229,97) = 248,37 \text{ куб. с.}$$

Разность $(1 + k_v)\, V_v^x - (1 + k_n)\, V_n^x = 568,60 - 248,37 = 320,23$ куб. саж.

дѣйствительно почти не отличается отъ заданной въ проектѣ $A = (1,08)\,.\,296,30 = 320,00$ куб. с.

Если бы составляя наше уравненіе для опредѣленія (x) мы приняли во вниманіе членъ βx^2 (см. 194 и 195), то получили бы, вмѣсто взятаго уравненія ($358,19\, x + 301,10 = 0$), болѣе точное:

$$0,84\, x^2 + 358,19\, x + 301,10 = 0,$$

корень котораго, однако, слишкомъ незначительно разнится отъ найденнаго, а именно:

$$x = -0,84 - \frac{0,81}{359,60} = \infty - 0,84.$$

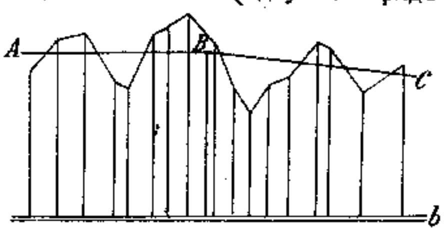
Примѣчаніе. При рѣшеніи различныхъ вопросовъ съ помощью неизвѣстной величины x слѣдуетъ имѣть въ виду, что правильность рѣшенія можетъ нарушаться въ тѣхъ случаяхъ, когда новое положеніе проекта измѣняетъ рабочія отмѣтки на обратныя.

Изложенный методъ рѣшенія вопроса объ отысканіи выгоднѣйшаго положенія сѣкущей плоскости можетъ быть примѣненъ съ удобствомъ и въ тѣхъ случаяхъ, когда основная плоскость дается съ наклономъ къ горизонту или же представляетъ систему пересѣкающихся плоскостей.

При этомъ въ общемъ случаѣ нѣтъ надобности въ предварительномъ опредѣленіи такого положенія сѣкущей плоскости, при которомъ достигается равенство ($V_n = V_v$).

Къ рѣшенію можно идти слѣдующимъ путемъ:

имѣя «черныя» (нивеллировочныя) отмѣтки вершинъ квадратовъ, отнесенныя, какъ обыкновенно бываетъ, къ нѣкоторой условной горизонтальной плоскости (ab), фиг. 47, проектируютъ поверхность ABC (одну или рядъ плоскостей) параллельно



Фиг. 47.

предполагаемой основной плоскости и вычисляютъ «красныя» отмѣтки вершинъ квадратовъ; положительныя или отрицательныя разности красныхъ и черныхъ отмѣтокъ явятся рабочими отмѣтками насыпей и выемокъ; затѣмъ производится подсчетъ V_n и V_v и отыскивается извѣстнымъ уже способомъ наивыгоднѣйшее положенiе поверхности ABC, отвѣчающее любому соотношенiю между V_n и V_v.

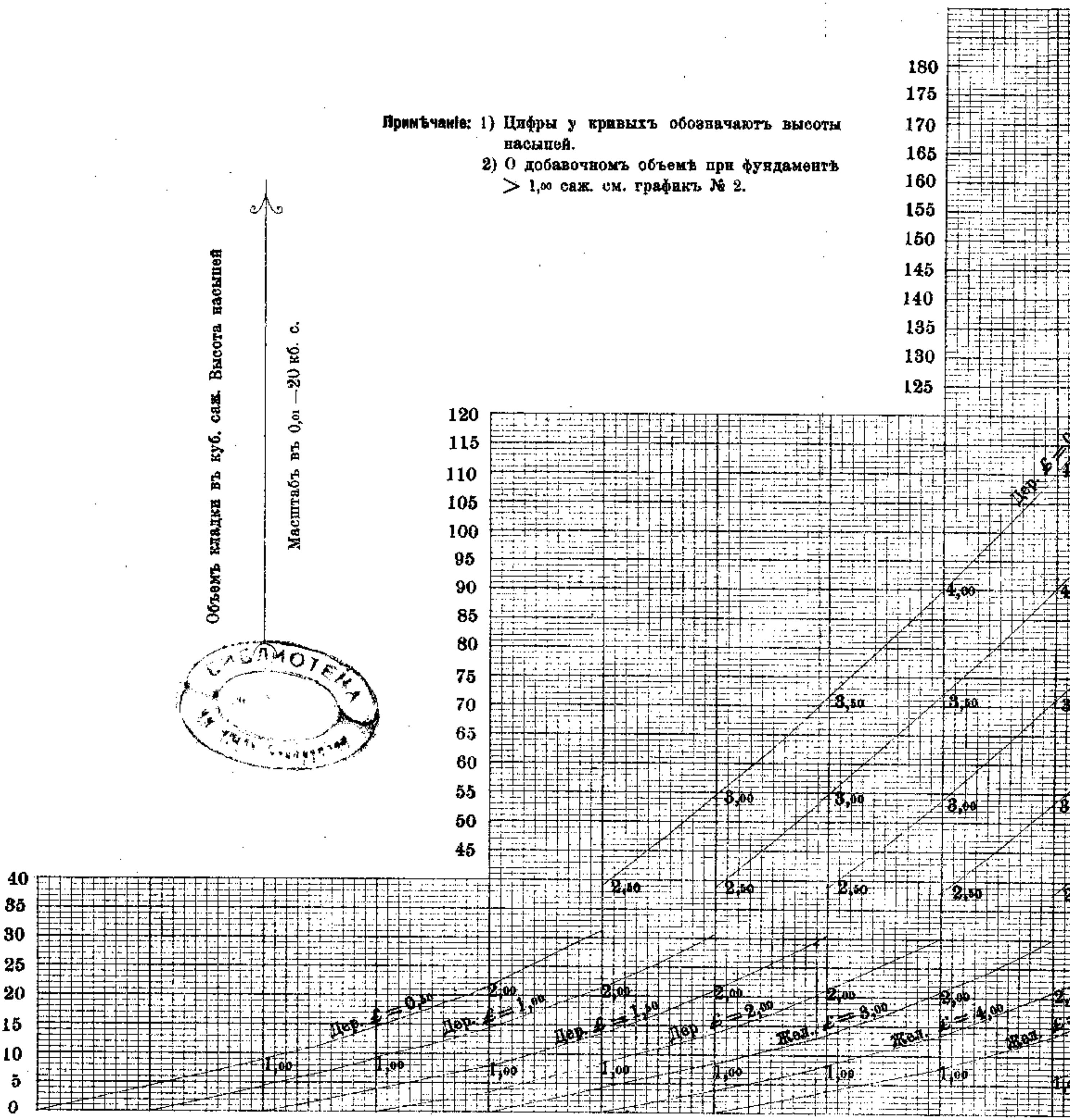
Въ изложенiи вопроса о земляныхъ сооруженiяхъ большой площади вездѣ для простоты мѣстность предполагалась ограниченной такимъ контуромъ, который допускаетъ точное подраздѣленiе ея на сѣть квадратовъ. Въ общемъ случаѣ, однако, контуръ можетъ быть произвольнаго очертанiя; при такомъ условiи мѣстность разбивается на треугольники равной и неравной между собою площади; этимъ дѣленiемъ можно разграничить объемы на двѣ категорiи: объемъ первой подсчитывается какъ общая масса, объемъ-же второй—въ отдѣльности по треугольникамъ.

Опечатки:

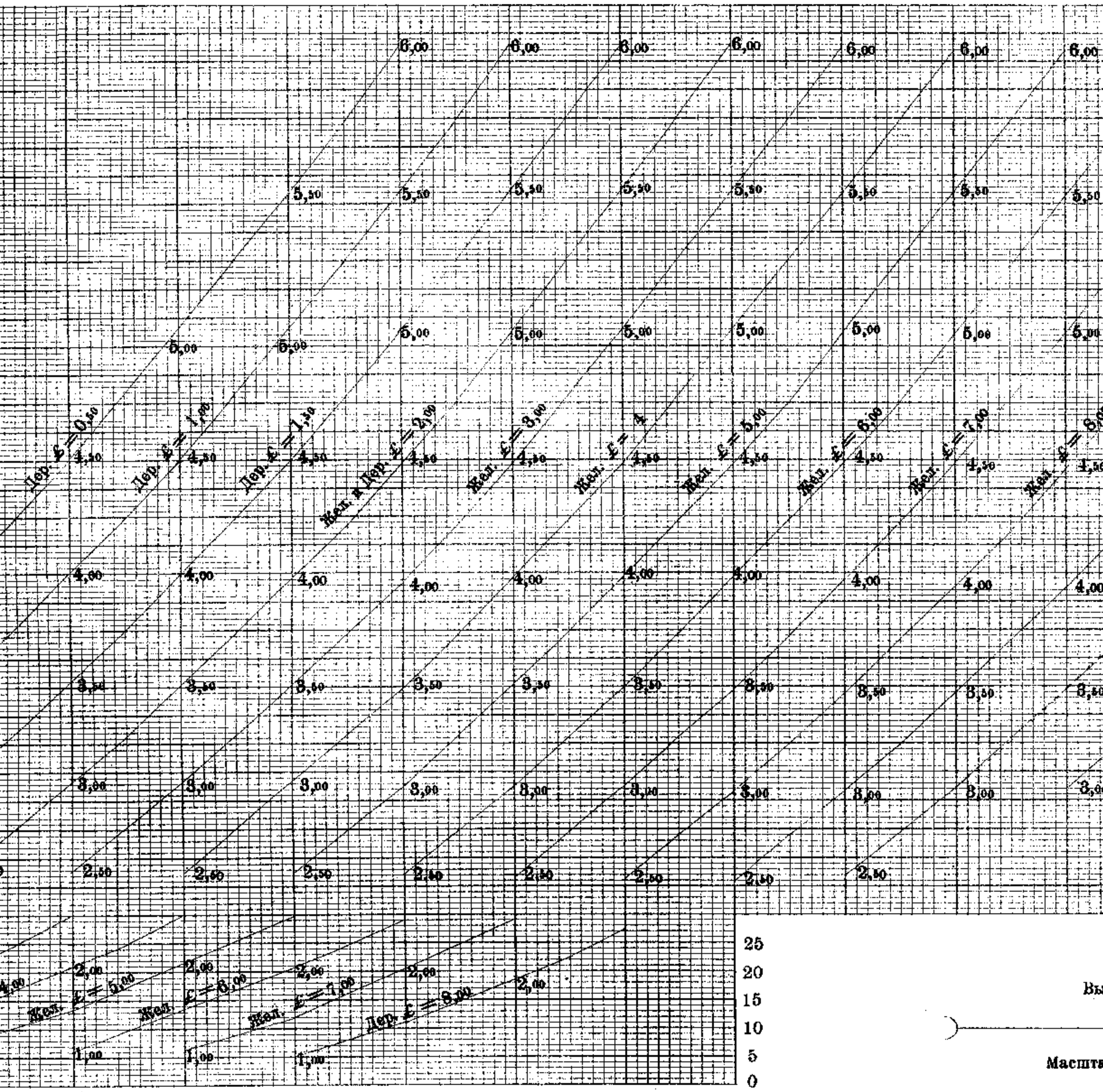
Стр.	Строка.	Напечатано:	Слѣдуетъ:
7	11 сверху	$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\rho = \operatorname{tg}\delta$	$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\rho = \operatorname{tg}\delta = 0$
10	8 »	$3\,(H_1 - 3 + c_x) + (H_2 - 3 + c_x)\,L_2$	$3[(H_1 - 3 + c_x) + (H_2 - 3 + c_x)]\,L_2$
16	7 »	$(c_n{}^2\varphi_k - \omega_n)\Big]\,x$	$(c_n{}^2\varphi_k - \omega_n)\,\frac{l_k}{h_k}\Big]\,x$
16	11 »	$0{,}87\,\Sigma\varphi_k\,\frac{l_k}{h'_k}$	$0{,}87\,\Sigma\varphi_k\,\frac{l_k}{h_k}$
16	2 снизу	$\frac{4 + a_v}{2}\,.\,h_1 - x$	$\frac{4 + a_v}{2}\Big(h_1 - x$
17	1 »	$2^2\,L_2\,f_2$	$x^2\,L_2\,f_2$
21	3 »	x_8	x^2
22	9 сверху	h_x	h_v
25	1 »	$\Big[\Sigma\left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right)l$	$\Big[\Sigma\left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}\right)l$
32	18 »	4583,95	4383,95
34	2 снизу	$3{,}50\,\Sigma\varphi$	$3{,}50\,\Sigma P$
78	1 »	$bcde' +$	$bcde' =$
80	10 сверху	$\frac{Sn\,J}{8}\left(\frac{1}{2} + \operatorname{tg}\alpha\right);$	$\frac{Sn\,J}{8n}\left(\frac{1}{2} + \operatorname{tg}\alpha\right)\Big];$
80	15 »	$0{,}279 + \operatorname{tg}\alpha$	$0{,}279\,\operatorname{tg}\alpha$
83	15 снизу	9,19	9,10
87	3 сверху	$\frac{\left(c - \frac{\tau}{H}\right)}{n^2}\,x^2$	$\frac{\left(c - \frac{\tau}{H^2}\right)}{n^2}\,x^2$
94	14 снизу	$\frac{x}{h}$	$\frac{x}{n}$
95	13 »	$\left(d - \eta\,\frac{x}{n}\right)$	$\left(d - \eta\,\frac{x}{n}\right)\left(1 + p\right)$
122	3 »	$\frac{1}{(\operatorname{tg}J + \operatorname{tg}\alpha)}$	$\frac{1}{(\operatorname{tg}J - \operatorname{tg}\alpha)}$

Графикъ № 1 объемовъ каменной клад

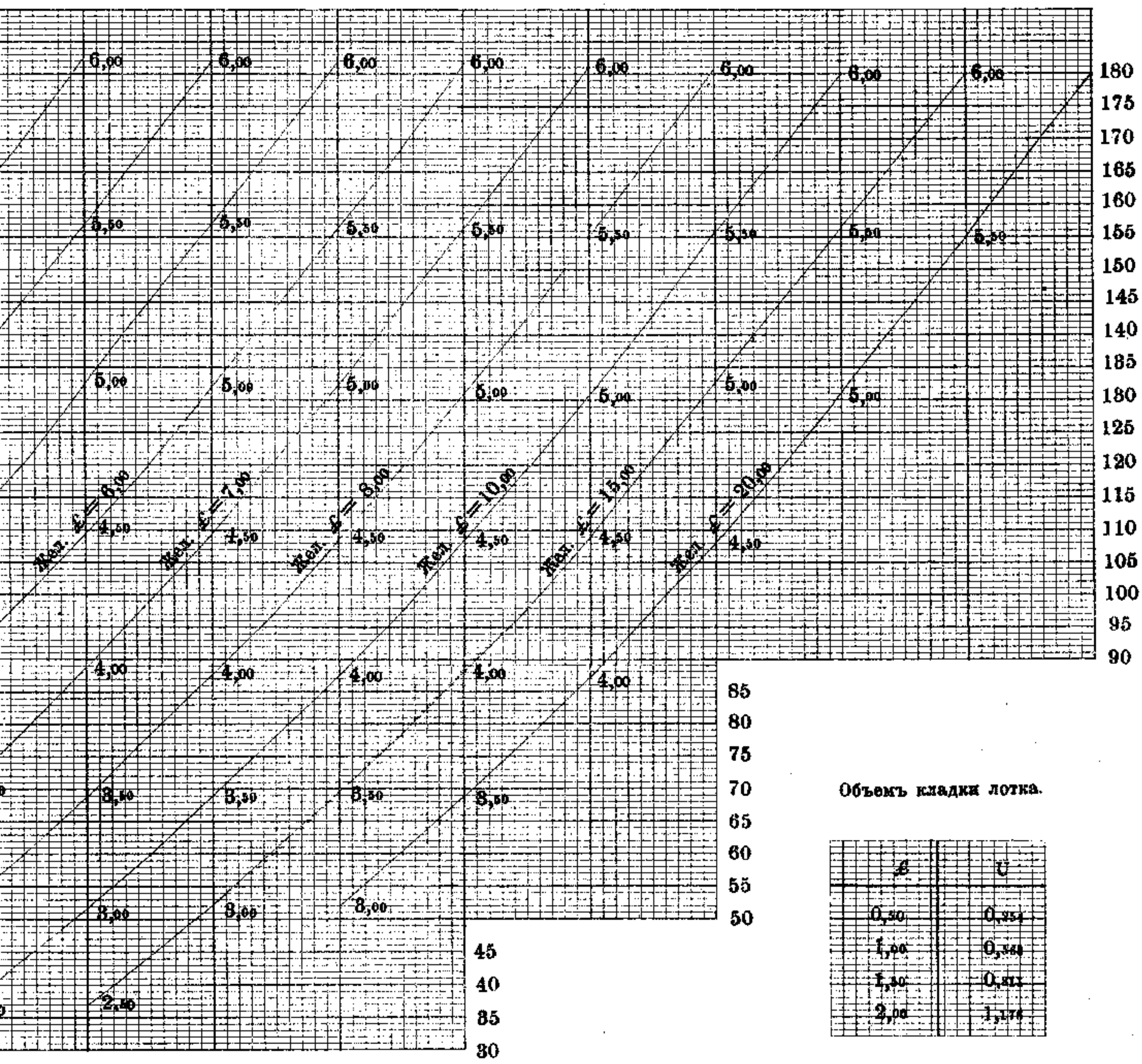
Примѣчаніе: 1) Цифры у кривыхъ обозначаютъ высоты насыпей.
2) О добавочномъ объемѣ при фундаментѣ > 1,00 саж. см. графикъ № 2.



кладки двухъ устоевъ мостовъ съ ѣздою по верху (при глубинѣ фундамен



…у (при глубинѣ фундамента въ 1,00 саж.).



Объемъ кладки лотка.

ℒ	U
0,50	0,354
1,00	0,568
1,50	0,811
2,00	1,176

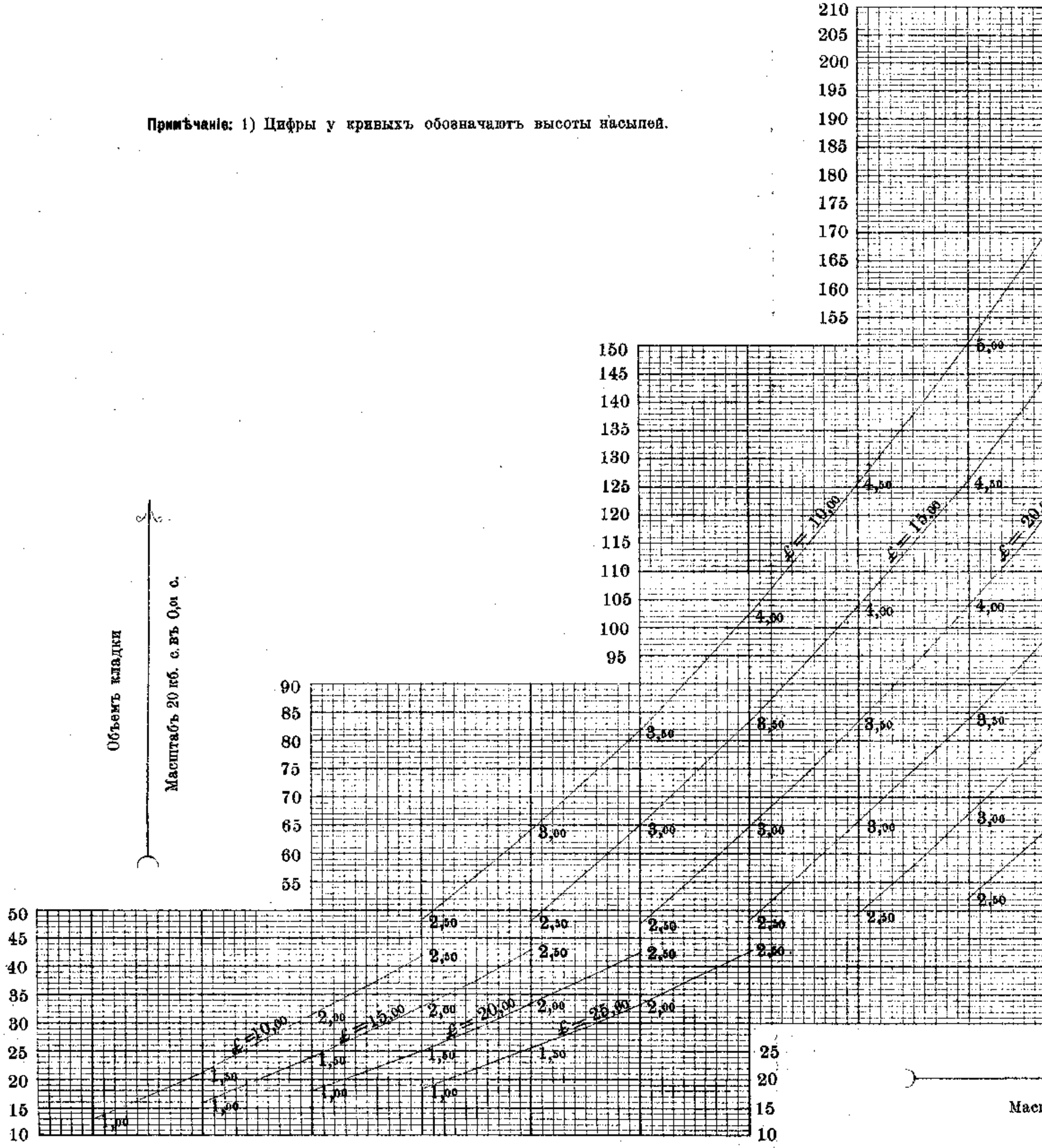
Высота насыпей

Масштабъ 0,10 саж. въ 0,01 с.

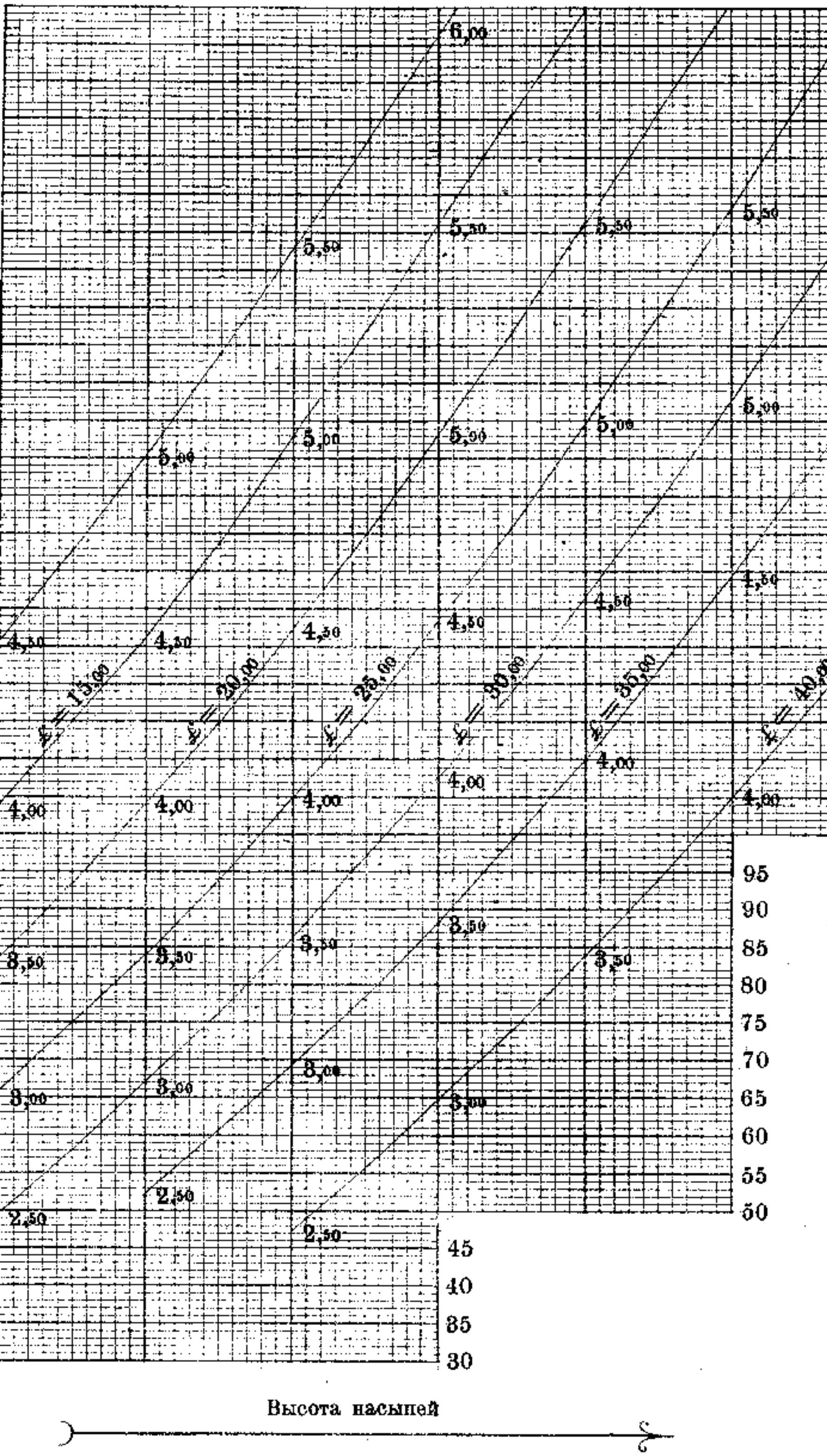
Лит. К. де Кастелли, В.О. 6 лин. 37 С.П.б.

Графикъ № 2 объемовъ каменной кладки

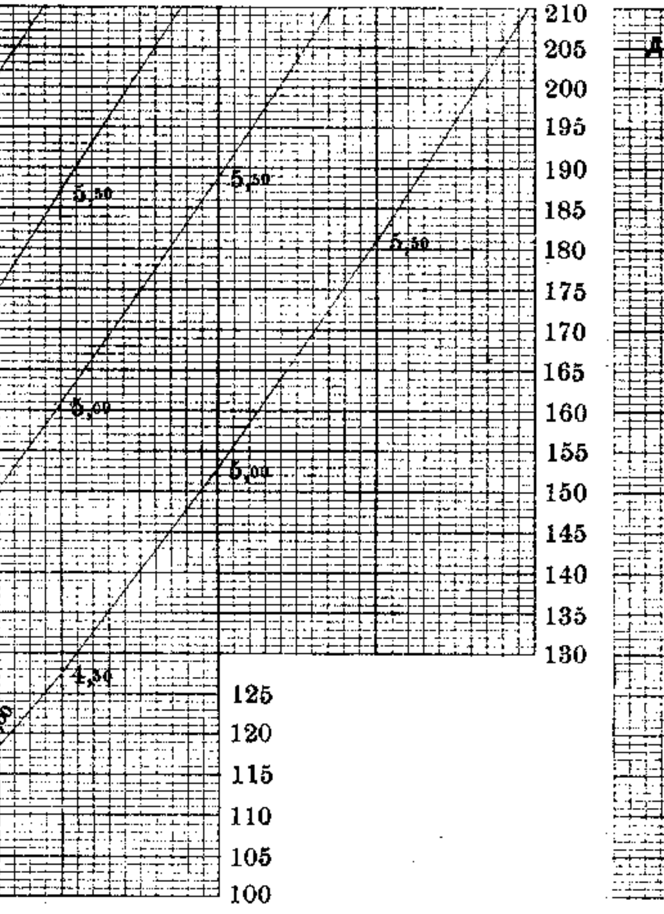
Примѣчаніе: 1) Цифры у кривыхъ обозначаютъ высоты насыпей.

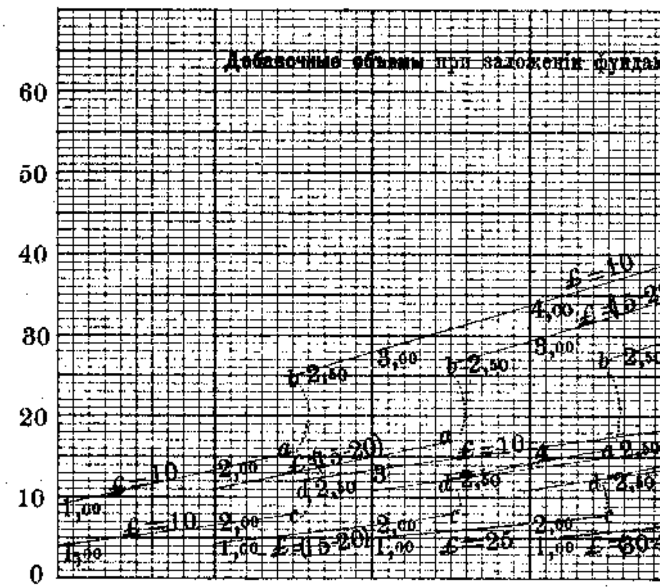


нной кладки двухъ устоевъ мостовъ съ ѣздою по низу (при глубинѣ фун



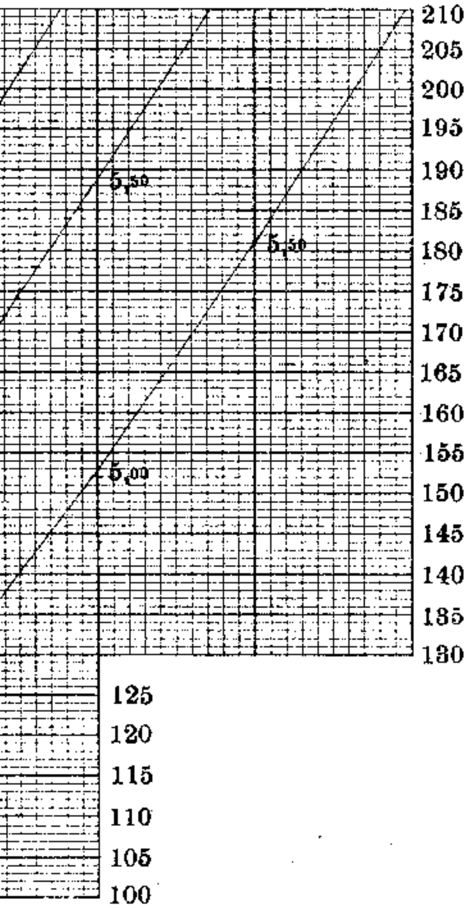
Масштабъ 0,50 саж. въ 0,01 с.

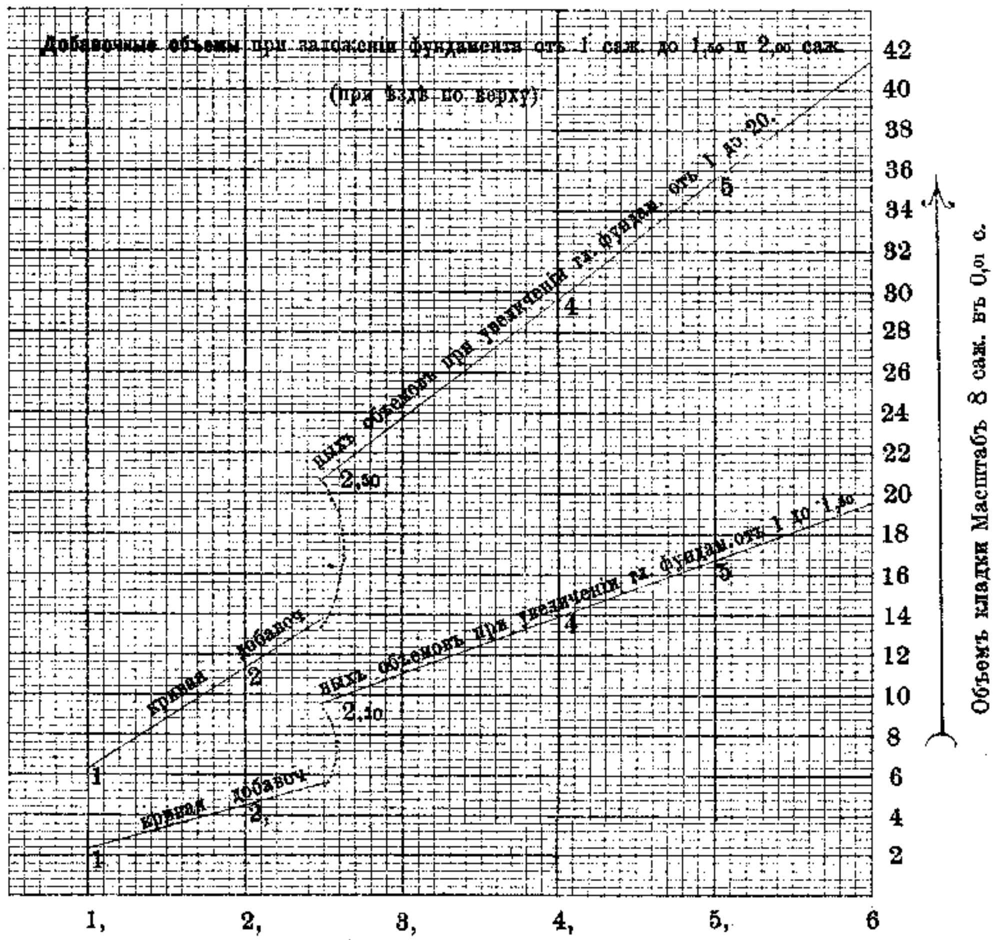


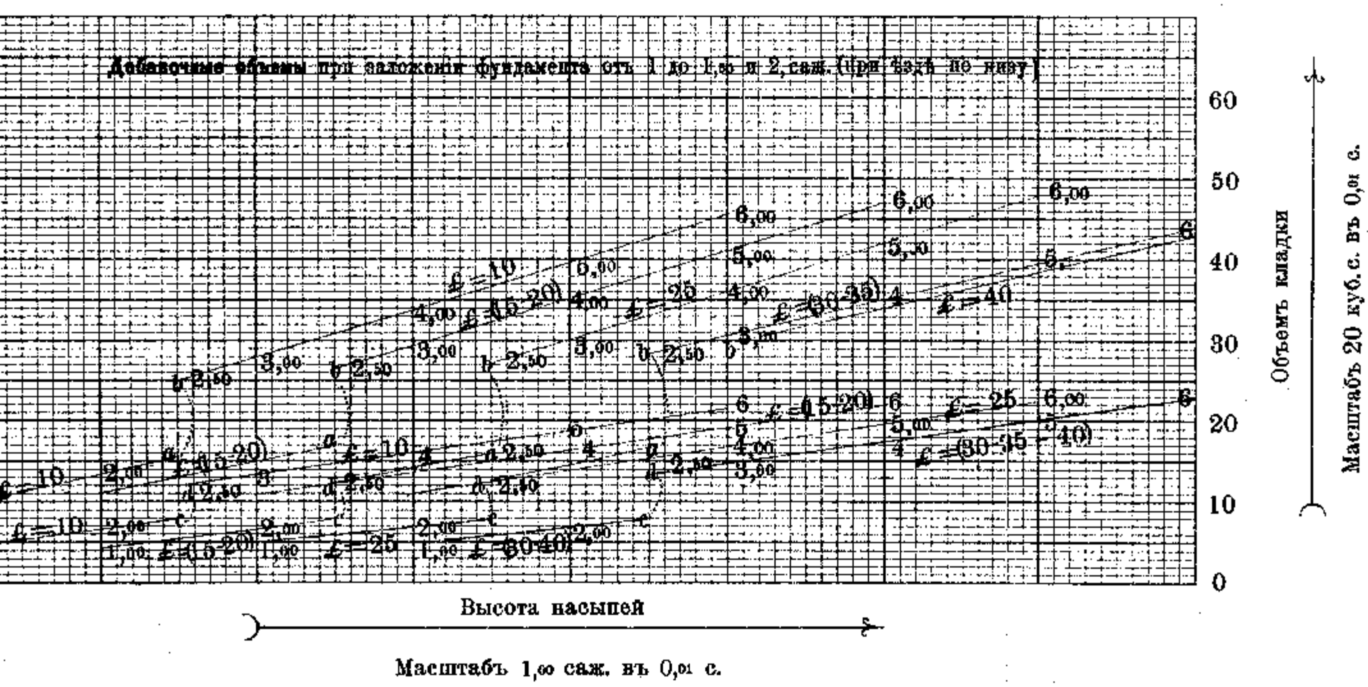


Масштабъ 1,0

по низу (при глубинѣ фундамента въ 1,00 саж.).







Лит. К. де Кастелли, В.О. 6 лин. 37 С.П.Б.