

ИЗСЛѢДОВАНИЕ

вліянія економіческихъ условій на начертаніе

въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ

водопроводной и оросительной сѣти.

Вяч. Ивановъ,

Инженеръ. Путей Сообщенія.

Оттискъ изъ Извѣстій Кіевскаго Политехническаго Института
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА II.

КІЕВЪ.

Типографія С. В. Кульженко, Пушкинская ул., д. № 4.
1908.



Печатать разрѣшается. Кіевъ 21 Дек. 1907 г. А. Радцигъ..

Оглавление.

1. Введение	5
2. Основные обозначенія и формулы	13
3. Наивыгоднѣйшее начертаніе напорной линіи. — Опредѣленіе діаметра напорной линіи при равномерномъ и неравномерномъ нагнетаніи. Численный примѣръ. — Опредѣленіе наивыгоднѣйшей стоимости подъема воды	15
4. Основные задачи для наивыгоднѣйшаго начертанія водопроводной разомкнутой сѣти. — Численные примѣры	31
5. Частные случаи приложенія основныхъ задачъ для начертанія водопроводной и оросительной сѣти	53
6. О наивыгоднѣйшемъ начертаніи главныхъ магистралей водопроводной сѣти и выборъ мѣста для водонапорной башни	67
7. Приложение 1. Таблица для опредѣленія величины экономическаго коэффициента k_f	72
Приложение 2. Таблица для опредѣленія величины экономическихъ коэффициентовъ k_m , k_p и k_e	74
Приложение 3. Таблица виртуальныхъ коэффициентовъ уширенія рвовъ α_1	76

Введение.

Всякій инженеръ при составленіи проекта какого либо сооруженія долженъ стремиться къ тому, чтобы это сооруженіе при соблюденіи всѣхъ необходимыхъ для него техническихъ приѣмовъ наилучшимъ образомъ удовлетворяло своему назначенію и одновременно съ тѣмъ стоило какъ возможно дешево.

Этимъ столь общимъ и всѣмъ понятнымъ правиломъ, къ сожалѣнію, нерѣдко пренебрегаютъ въ жизни, въ особенности при возведеніи санитарно-инженерныхъ сооружений, когда въ погонѣ за экономіей подрываютъ въ корнѣ назначеніе возведеннаго сооруженія. Одной изъ главныхъ причинъ такого положенія вопроса является, по нашему мнѣнію, неумѣлое хозяйство городскихъ самоуправленій, отдающихъ сооруженіе водопроводовъ и канализаціи концессионерамъ, стремленія которыхъ, естественно, направлены съ одной стороны къ уменьшенію строительной стоимости сооружений и эксплуатационныхъ расходовъ, хотя бы въ ущербъ ихъ назначенію, и къ повышенію налогового сбора съ другой.

Благодаря такому положенію вещей при сооруженіи водопроводовъ пренебрегаютъ самымъ главнымъ: *добываніемъ воды, безупречной съ гигиенической точки зрѣнія*; такъ, напр. сооруженія для сбора рѣчной воды въ нѣкоторыхъ городахъ, устроенныя акціонерными компаніями (С.П.Б.¹, Кіевъ², Томскъ³ и пр.) построены въ такихъ пунктахъ, выше которыхъ расположенъ рядъ фабрикъ и заводовъ,⁴ загрязняющихъ постоянно своими отбросами и отработавшими водами водные протоки.

¹ Труды III Водопроводнаго Съѣзда, сообщеніе инженера М. Н. Алтухова „Историческій очеркъ водоснабженія г. С.-Петербурга.“

² Труды V Водопроводнаго Съѣзда, сообщеніе инженера Ф. Ф. Эссенъ „Историческій очеркъ водоснабженія г. Кіева.“

³ Труды IV Водопроводнаго Съѣзда, сообщеніе инженера А. Е. Первого „О Томскомъ водопроводѣ“.

⁴ Въ Кіевѣ сверхъ того выше города расположены поля орошенія, примитивно устроенныя и съ недостаточною площадью для очистки всѣхъ ноступающихъ на нихъ водъ.

Между тѣмъ для каптажа безупречной съ гигиенической точки зрѣнія воды не слѣдуетъ останавливаться предъ большими на первый взглядъ расходами при проведеніи ея трубами или каналами значительной длины. Классическими примѣрами подобныхъ сооружений являются водоснабженіе г. Вѣны¹ проведеншей себѣ воду изъ горныхъ ключей на разстояніе 105,012 километровъ отъ города и Нью-Йорка² устроившаго 10 искусственныхъ водохранилищъ общою вмѣстимостью около 16000000 куб. м. на разстояніи 40 километровъ отъ города и проведеншаго себѣ воду двумя акведуками; въ Россіи можно упомянуть о водоснабженіи г. Одессы³, берушей себѣ воду изъ р. Днѣстра на разстояніи 47 верстъ, Феодосіи на разстояніи 27 верстъ и г. л.

Когда предварительными изысканіями установлено, что извѣстный источникъ водоснабженія является безупречнымъ въ качественномъ и количественномъ отношеніи, то предъ санитарнымъ инженеромъ стоитъ задача *использовать наивыгоднѣйшимъ образомъ все мѣстные условія*: родъ источника водоснабженія, разстояніе источника водоснабженія до города, высоту подъема, конфигурацію города и пр. Достигнутая при наивыгоднѣйшемъ использованіи мѣстныхъ условій экономія въ постройкѣ водопроводовъ естественно влечетъ за собой удешевленіе воды для потребителей, что въ свою очередь вызываетъ увеличеніе потребленія, а слѣдовательно и возможность дальнѣйшаго уменьшенія стоимости воды. Съ повышеніемъ же потребленія увеличивается естественно и санитарный эффектъ водопровода на мѣстное населеніе.

Стоимость типового водопровода складывается изъ стоимости сооружений: а) для добычанія воды, б) для очистки воды, в) для подъема и проведенія воды въ городъ, г) для распределенія воды и д) для уравниванія расхода и давленія въ сѣти.

Въ водопроводахъ гравитаціонныхъ (самотечныхъ) обыкновенно отсутствуютъ сооруженія для подъема воды, если естественнаго напора источника достаточно для подъема воды въ верхніе этажи домовъ города.

Далѣе не имѣется сооруженій для очистки воды въ тѣхъ водопроводахъ, гдѣ вода въ своемъ естественномъ видѣ признается доброкачественной съ санитарной точки зрѣнія. Такими водами считались до послѣдняго времени воды, прошедшія сквозь естественный фильтръ-почву (ключевыя, грунтовыя и въ особенности артезіанскія).

¹) Die Wasserversorgung sowie die Anlagen der städtischen Elektrizitätswerke, die Wientlussregulierung etc in Wien 1901.

²) Genie Civil, 1907 г. L'approvisionnement d'eau potable de Nèw-York et le nouveau barrage-reservoir de Croton.

³) Труды Четвертаго Водопроводнаго Съѣзда, сообщеніе инж. И. О. Платеа „Историческій очеркъ водоснабженія г. Одессы.“

Однако рядъ изслѣдованій эпидемій брюшнаго тифа въ городахъ Западной Европы показаль, что и эти воды далеко не безупречны съ санитарной точки зрѣнія и иногда служатъ прекрасными путями для передачи заразныхъ болѣзней. Поэтому эти воды въ настоящее время или подвергаютъ обезвреживанію озономъ² или во всякомъ случаѣ при пользованіи ими устраиваютъ сооруженія для освобожденія водъ отъ желѣза и сѣроводорода³ аераціей, пропускомъ чрезъ наполненныя гравіемъ колонны съ дополнительной фильтраціей и т. под.

Веѣ сооруженія типового водопровода можно раздѣлить на двѣ группы: первая (каптажъ источника, типы очистныхъ сооружений и пр.), гдѣ вопросъ о наименьшей стоимости можетъ быть рѣшенъ въ каждомъ частномъ случаѣ путемъ сопоставленія параллельныхъ проектовъ и вторая (діаметръ напорной линіи, мощность насосной станціи, опредѣленіе высоты напорнаго резервуара, начертаніе сѣти, опредѣленіе размѣровъ фильтровъ и пр.), гдѣ вопросъ о наивыгоднѣйшей стоимости можетъ быть до известной степени рѣшенъ путемъ математическаго анализа, основаннаго на формулахъ гидравлики и строительной механики.

Вопросъ объ опредѣленіи наивыгоднѣйшихъ значеній для основныхъ элементовъ водопровода, къ которымъ слѣдуетъ отнести діаметръ трубы, напоръ, скорость, расходъ и гидравлическій уклонъ былъ поднятъ въ технической литературѣ въ пятидесятихъ годахъ прошлаго столѣтія.

Такъ въ 1854 г. почти одновременно Bress⁴ и Dupuit рѣшили задачу по опредѣленію экономическаго діаметра и скорости напорной линіи.

Затѣмъ Weiss⁵, Thiem⁶, Rother, Smreker занимались задачей Bress-Dupuit; изъ нихъ послѣдній примѣнилъ ея выводы для опредѣленія діаметра напорныхъ линій германскихъ городовъ Mannheim и Laibach.

Далѣе въ 1890 г. проф. Forcheimer болѣе подробно изслѣдовалъ задачу Bress'a-Dupuit и также далъ нѣкоторыя правила для начертанія разомкнутой водопроводной сѣти.

¹ Извѣстія Собранія Ниж. Пут. Сообщ. 1902 г. докладъ инж. Л. Л. Элькина; Методъ Марбутена и результаты работы Монсунійской Обсерваторіи.

² Инженерный журналъ, 1904 г. статья инж. Э. Лундберга „Типичные примѣры снабженія городовъ Западной Европы грунтовой водой“.

Е. Б. Контковский. Труды VII международнаго конгресса по судоходству и демографіи. Извѣстія Киев. Политехн. Института 1907 г. В. Ф. Пнановъ. „Краткій отчетъ о VIII Русскомъ Водопроводномъ Сѣздѣ.“

³ Handbuch d. Ingenieurwissenschaften, Dritter Teil, Dritter Band, Die Wasserversorgung der Städte. Von Frühling und Oesten.

⁴ Названія этихъ сочиненій помѣщены въ общемъ спискѣ источниковъ, помѣщенномъ въ концѣ Введенія.

⁵ Weiss Civilingenieur 1867.

⁶ Thiem. Das Wasserwerk der Stadt Fürth in Bayern.

Въ томъ же году Willner, изслѣдуя вопросъ о выборѣ наивыгоднѣйшаго діаметра для напорныхъ линій, по которымъ поднимались сточныя воды г. Берлина на поля орошенія, расширилъ задачу Bress-Dupuit введеніемъ въ ихъ уравненіе величины расходовъ по приобрѣтенію и эксплуатаціи водоподъемныхъ машинъ, какъ функціи напора; результатомъ такого же изслѣдованія явилось весьма сложное уравненіе 15-й степени относительно діаметра напорной линіи, которое рѣшается лишь путемъ послѣдовательныхъ подстановокъ. Упрощеніе въ уравненіи Willner'a ввелъ Mehmke и далъ способъ для его рѣшенія логариемически-графическимъ путемъ.

Вслѣдъ за Mehmke слѣдуетъ отмѣтить весьма интересныя работы Kresnik'a, посвященныя вопросамъ объ опредѣленіи наивыгоднѣйшихъ діаметровъ трубной сѣти, наивыгоднѣйшей высоты резервуара, числа зонъ для разомкнутой сѣти.

Результаты названныхъ работъ уже со времени Dupuit стали достояніемъ курсовъ гидравлики и водоснабженія какъ за границей, такъ и у насъ въ Россіи. Такъ наз. изложеніе задачи Bress-Dupuit и вообще задачъ связанныхъ съ опредѣленіемъ наивыгоднѣйшихъ элементовъ водопроводовъ можно найти въ сочиненіяхъ Dupuit¹, Bress, Grashof, Ruhlmann, Flamant, Frühling, Lueger, Dariès, Beschmann, Максименко, Евневича, Чижова, Саткевича, Рузскаго, Черепашинскаго, Правдзика, Борзова и т. п.

Не смотря на давнее появленіе формулъ по опредѣленію наивыгоднѣйшихъ значеній для основныхъ элементовъ водопроводовъ, на практикѣ онѣ или вслѣдствіе теоретической постановки нѣкоторыхъ задачъ или же иногда по незнакомству инженеровъ съ вышеуказанными работами, разбросанными по различнымъ журналамъ, примѣняются сравнительно рѣдко. Такъ напр, у насъ въ Россіи мы можемъ указать на работы инженеровъ Шухова, Кнорре и Лембке², примѣнившихъ способъ Bress-Dupuit къ водоснабженію г. Москвы и на работу инженера Н. П. Зимина, «Описаніе сооруженій Московскаго водопровода.» Впрочемъ за послѣднее время пробуждается нѣкоторый интересъ къ этимъ вопросамъ, и если судить по недавно появившимся работамъ: инженера Лунина³, «О наивыгоднѣйшихъ діаметрахъ водопроводной сѣти», гдѣ авторъ вноситъ нѣкоторыя поправки къ формуламъ, даннымъ проф. Б. К. Правдзикомъ въ его курсѣ «Водопроводы», и инженера Березовскаго «Особенности проектированія канализа-

¹ Подробныя названія этихъ сочиненій будутъ приведены нѣсколько далѣе въ общемъ списокѣ сочиненій, которыми мы пользовались для составленія настоящаго труда.

² Шуховъ, Кнорре и Лембке, Проектъ Московскаго водоснабженія 1891 г.

³ Н. П. Зиминъ. Описаніе сооруженій новаго Московскаго водопровода 1905 г.

ціонныхъ насосныхъ станцій съ большими напорными трубами», доложеной имъ на VII Водопроводномъ Сѣздѣ въ г. Москвѣ¹.

Изъ вопросовъ, которые приходится рѣшать при проектированіи водопроводовъ однимъ изъ весьма важныхъ и въ тоже время сложныхъ является вопросъ о наивыгоднѣйшемъ начертаніи трубной разводящей сѣти, какъ зависящей отъ цѣлаго ряда факторовъ (количества протекающей по трубамъ воды, напоровъ, направленій водораспределенія по отдѣльнымъ вѣтвямъ. сѣти и пр.); при этомъ слѣдуетъ имѣть въ виду, что стоимость разводящей сѣти по статистическимъ даннымъ составляетъ въ среднемъ обыкновенно отъ 50 до 60% стоимости всего водопровода. Вопросъ этотъ до нѣкоторой степени уже затронутъ выше цитированными работами Foreheimer'a, Willner'a и др.

Цѣлью нашей работы будетъ изслѣдованіе вопроса о наивыгоднѣйшемъ начертаніи напорной линіи, опредѣленіе наивыгоднѣйшей средней стоимости подъема 1 куб. метра воды на 1 метръ высоты, а также разработка вопроса о начертаніи водопроводной и оросительной разводной сѣти; при этомъ мы считаемъ нужнымъ замѣтить, что полученные нами рѣшенія справедливы лишь при принятыхъ условіяхъ и сдѣланныхъ допущеніяхъ, и что въ нихъ можно видѣть скорѣе приближенные методы рѣшенія, чѣмъ строго опредѣленные формулы для непосредственнаго пользованія, независимо отъ мѣстныхъ условій.

Для облегченія чтенія мы сначала приводимъ тѣ общеизвѣстныя формулы и обозначенія, которыми мы пользуемся при дальнѣйшемъ изложеніи съ указаніемъ сдѣланныхъ при этомъ предположеній.

Вторая глава нашего труда будетъ посвящена вопросу о наивыгоднѣйшемъ начертаніи напорной линіи, объ опредѣленіи наивыгоднѣйшаго діаметра ея и наивыгоднѣйшей средней стоимости подъема воды.

Въ третьей главѣ будутъ изложены общіе приемы по начертанію водопроводныхъ линій; четвертая глава обнимаетъ собой частныя задачи, вытекающія изъ задачъ III главы (напр. наивыгоднѣйшее соединеніе ключей, расположенныхъ на различныхъ высотахъ, наивыгоднѣйшее нахожденіе мѣста для водоемнаго зданія въ разомкнутой сѣти, начертаніе оросительной сѣти и пр.).

Въ пятой главѣ изложены подготовительные приемы для наивыгоднѣйшаго начертанія магистралей и расположенія водоемнаго зданія. Кроме того въ концѣ нашей работы приведено нѣсколько вспомогательныхъ

¹ Строитель, 1904 годъ.

² Къ сожалѣнію въ Трудахъ VII сѣзда не помѣщенъ самый докладъ, а только пренія, а на сѣздѣ онъ былъ доложенъ въ весьма сокращенномъ видѣ.

таолицъ для опредѣленія величины различныхъ экономическихъ коэффициентовъ, въ качествѣ приложенія къ нѣкоторымъ методамъ рѣшенія задачъ, приведенныхъ въ текстѣ.

Полученные нами выводы для водопроводной сѣти будутъ еще въ болѣе степени приложимы и къ оросительной трубной сѣти, гдѣ мы болѣе или менѣе свободны при выборѣ направленій трубныхъ линий.

При составленіи настоящаго труда мы, кромѣ сочиненій, приведенныхъ въ текстѣ, пользовались слѣдующими источниками:

- 1) Dupnit. Traité théorique et pratique de la conduite et de la distribution d'eau. 1854.
- 2) Smreker. Die Bestimmung der finanziell günstigsten Geschwindigkeit des Wassers in Druckleitungen unter Voraussetzung künstlicher Hebung. Zeit d. Ver. deut. Ing. 1889 r.
- 3) Willner. Die wirtschaftlich zweckmässigste Geschwindigkeit des Wassers in Druckrohren bei künstlicher Hebung—Zeit. d. Ver deut. Ing. 1890 r.
- 4) Forcheimer. Ueber Rohrnetze—Zeit. d. Ver. deut. Ing. 1889—1890.
- 5) Mehmke. Die wirtschaftlich zweckmässigste Rohrweite von Druckrohren bei künstlicher Hebung—Zeit d. Ver. deut. Ing. 1890.
- 6) Kresnik. Zur günstigsten Anlage städtischer Wasserleitungen—Zeit. d. Oest. Ing und. Arch. Ver. 1895.
- 7) Люгеръ. Водоснабженіе городовъ—перев. съ нѣмецкаго Боровича, подъ редакц. проф. Ф. Е. Максименко.
- 8) Moulan. Notes et renseignements divers sur l'établissement et l'exploitaitoin de distribution d'eau.
- 9) Frühling und G. Oesten. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Dritter Teil, Der Wasserbau, Dritter Band, Die Wasserversorgung der Städte 1904.
- 10) Шуховъ, Кнорре и Лембе. — Проектъ Московскаго водоснабженія 1891 г.
- 11) Труды Русскихъ Водопроводныхъ Съѣздовъ (I—VII).
- 12) Barth. Sammlung Göschen, Die zweckmässigste Betriebskraft.
- 13) Н. П. Зиминый. Описаніе сооружений Московскаго водопровода.
- 14) Пояснительная записка къ проекту канализаціи г. С.-Петербурга. составленная обществомъ Брянскихъ Заводовъ.
- 15) E. Melli. Bestimmung der Wassergeschwindigkeit in Druckleitungen, Sweiz. Bauzeit, 1897.

Краткій списокъ сочиненій, въ которыхъ помѣщены задачи по опредѣленію наивыгоднѣйшихъ элементовъ водопровода.

- 1) Bresse. Cours de mecanique appliquee, II partie, hydraulique 1868 г.
- 2) Grashof. Hydraulick nebst mechanisher Wärmetheorie und allgemeiner theorie der heizung 1875.
- 3) Flamant. Hydraulique.
- 4) Dariès. Calcul des conduites d'eau.
- 5) Lueger. Die Wasserversorgung der Städte.
- 6) Beschmann. Salubrité urbaine.
- 7) Frühling. см. выше № 9.
- 8) Максименко. Курсъ гидравлики.
- 9) Евневичъ. Курсъ гидравлики.
- 10) Рузекій. Курсъ гидравлики (студ. изд.).
- 11) Чижовъ. Водопроводы (студ. изд.).
- 12) Саткевичъ. Водоснабженіе городовъ 1899.
- 13) Черепанинскій. Водоснабженіе.
- 14) Борзовъ. Устройство и улучшеніе водоснабженія желѣзнодорожныхъ станцій.
- 15) Правдзнкъ. Водоснабженіе.

Глава I.

Обозначенія и основныя формулы.

А. Обозначенія.

- d_f — діаметръ напорной (самотечной) линіи въ метрахъ
 d_r — діаметръ разводящей " " " "
 l_f — длина напорной " " " "
 l_r — длина разводящей " " " "
 Q — количество воды, подаваемое по напорной (самотечной) трубѣ длиной l_f , въ снабжаемый водою пунктъ, въ куб. метрахъ.
 q_r — количество воды, протекающее по разводящей линіи длиной l_r , въ куб. мет.
 v_f — средняя скорость движенія воды въ напорномъ (самотечномъ) трубопроводѣ въ метрахъ.
 v_r — средняя скорость движенія воды въ разводномъ трубопроводѣ въ метрахъ.
 H_f — пьезометрическая высота въ центрѣ источника водоснабженія (при подачѣ самотекомъ) или въ центрѣ насосной станціи (при подъемѣ воды) въ метрахъ.
 H_r — пьезометрическая высота въ пунктѣ разбора воды на концѣ разводящей линіи въ метрахъ.
 h_r — потеря напора въ метрахъ на протяженіи l_r .
 i_r — гидравлическій уклонъ (потеря напора на единицу длины).
 λ — коэффициентъ тренія частицъ воды о стѣнки трубъ и между собой при движеніи воды въ трубопроводѣ.
 N_e — эффективная сила насосовъ.
 C — стоимость сооруженія.
 p — годовые проценты на капиталъ.
 t — время, въ которое нарастаетъ капиталъ.
 Δ — вѣсъ кубическаго метра воды, равный 1000 киллограммовъ.

Б. Основные формулы.

$$Q = \sum_{i=n}^{i-1} q_i \quad (1)$$

$$q_i = \frac{\pi d_i^2}{4} \cdot v_i \quad (2)$$

$$h_i = \frac{1,1 \lambda q_i^2 l_i}{d_i^5} \quad (3)$$

или

$$= \frac{1,1 \lambda_1 v_i^2}{d_i} \quad (3')$$

Коэффициенты λ или λ_1 представляют собой функцию диаметра или скорости и выражаются многочисленными авторами (Prony, Eitelwein, Dupuit, Weisbach, Darcy, Ganguillet и Kutter и др.) въ различномъ видѣ. Для нашихъ цѣлей, можно принимать λ постояннымъ и равнымъ по формулѣ Dupuit 0,00243 (метр. мѣры) или 0,082 (рус. мѣры), какъ это дѣлалось рядомъ нѣмецкихъ авторовъ.

Численный коэффициентъ 1,10 выражаетъ собой прибавку на добавочныя сопротивленія, испытываемыя жидкостью при проходѣ чрезъ задвижки, клапаны, повороты и пр. и оцѣниваемые обыкновенно въ водопроводной практикѣ въ 10⁰/₀.

$$i_i = \frac{h_i}{l_i} = \frac{1,1 \lambda q_i^2}{d_i^5} = \frac{1,1 \lambda_1 v_i^2}{d_i} \quad (4)$$

$$N_r = \frac{\Delta Q H_f}{75} \quad (5)$$

Капиталъ A , отданный въ ростъ по p ‰, превращается чрезъ t лѣтъ

въ

$$A(1 + 0,01p)^t \quad (6)$$

Величина годового взноса для оплаты p процентовъ съ занятаго капитала A съ погашеніемъ въ теченіе t лѣтъ равняется:

$$\frac{0,01 A p (1 + 0,01p)^t}{(1 + 0,01p)^t - 1} \quad (7)$$

Глава II.

При постепенномъ повышеніи уровня вультурнаго развитія жителей городовъ все болѣе и болѣе настойчиво раздается требованіе о снабженіи ихъ во чтобы то ни стало безупречной съ гигиенической точки зрѣнія водой.

Это явленіе можно прослѣдить на рядѣ западно-европейскихъ водопроводныхъ сооруженій¹, гдѣ постепенно рѣчныя водоснабженія вытѣснялись грунтовыми, для каковой цѣли городскія самоуправленія не останавливались предъ большими затратами. Если же почему-либо новой воды было недостаточно для всѣхъ потребностей города, то прибѣгали къ устройству двойного водоснабженія (Парижъ², Нанси³ и пр.) т. е. одна сѣтъ служила для питьевыхъ, а другая для промышленныхъ цѣлей. У насъ въ Россіи качество воды, подаваемой водопроводами, далеко отъ совершенства⁴, именно благодаря неудачному выбору источниковъ водоснабженія и мѣстъ для устройства водосборныхъ сооруженій нерѣдко въ центрѣ загрязненія, какъ объ этомъ упоминалось выше въ Введеніи. Впрочемъ нѣкоторыя указанія на желаніе замѣнить плохую воду доброкачественной можно встрѣтить за послѣднее время и у насъ, если взять за примѣръ дѣятельность С.-Петербургскаго городского управленія⁵, истратившаго на одни только подробныя и научныя изысканія источниковъ водоснабженія для города значительную сумму до—120000 рублей. Въ аналогичномъ положеніи находится вопросъ о перенесеніи приемника на Днѣпрѣ, выше го-

¹ Лундбергъ.— Типичныя примѣры снабженія городовъ Западной Европы грунтовой водой.

Борзовъ. Очерки водоснабженія нѣкоторыхъ городовъ Юго-Западной Германіи и Австріи.

² Notice sur le service des eaux et de l'assainissement de Paris 1906.

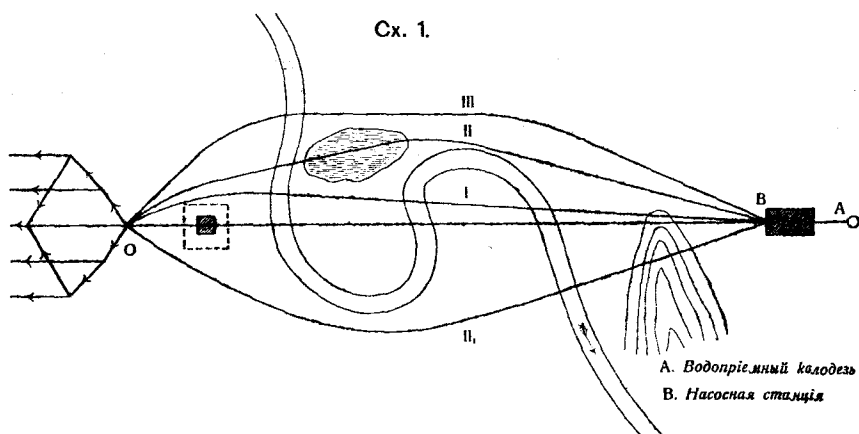
³ В. Ф. Ивановъ. Водоснабженіе г. Нанси.

⁴ Журналъ Общ. Охр. Народн. Здравья, статья инж. Н. Борзова „О нѣкоторыхъ данныхъ по устройству водоснабженія и удаленія нечистотъ въ русскихъ городахъ“.

⁵ В. Ф. Ивановъ. Краткій отчетъ о VIII Водопроводномъ Сѣздѣ*.

рода Кіева, который, насколько намъ извѣстно, поднять Кіевскимъ городскимъ общественнымъ управленіемъ.

При перемѣнѣ источника водоснабженія въ первомъ случаѣ дѣло обыкновенно сводится къ укладкѣ новой напорной линіи и иногда къ ней добавляются сооруженія для очистки и уравниванія давления или расхода воды. Считаая, что и въ Россіи будетъ развиваться процессъ перемѣны источниковъ водоснабженія или перенесенія приемниковъ, мы находимъ полезнымъ рассмотретьъ въ настоящей главѣ вопросъ о наивыгоднѣйшемъ начертаніи напорной линіи, т. е. трубной линіи, соединяющей водоподъемную станцію съ точкой начального напора въ распределительной сѣти, или водонапорнымъ резервуаромъ.



Само собой разумѣется, что въ этомъ вопросѣ не можетъ быть какихъ-либо общихъ рѣшеній и что трассировку напорной линіи въ каждомъ частномъ случаѣ можно сдѣлать по нѣсколькимъ направленіямъ, изъ которыхъ надлежитъ выбрать то, которое при соблюденіи техническихъ требованій обойдется дешевле другихъ. Технические условія, предъявляемыя къ напорной линіи можно свести къ слѣдующимъ пунктамъ:

1) Кратчайшее направленіе и минимумъ поворотовъ въ планѣ и профилѣ, такъ какъ отъ длины трубы и числа поворотовъ зависитъ величина вреднаго сопротивленія движенію воды въ трубахъ; при этомъ всѣ повороты должны быть выполнены пологими отводами—радіусомъ 1250—10000 мил. выбираемымъ въ зависимости отъ діаметра напорной трубы.¹

2) возможное сокращеніе земляныхъ работъ и числа искусственныхъ сооружений;

¹ Нормальный сортаментъ чугунныхъ водопроводныхъ трубъ, изданный Комиссіей V Русскаго Водопроводнаго Съѣзда. 1901 г.

3) определенная скорость, которая не могла бы быть опасной ни для отложения осадковъ, содержащихся въ водѣ, ни для прочности трубопровода; такой скоростью, соответствующею наибольшему расходу слѣдуетъ считать 1—1,5 метра.

На практикѣ иногда стремятся исключительно къ достиженію кратчайшаго направленія, между тѣмъ какъ несомнѣнно можно встрѣтить случаи, когда кратчайшее направленіе не можетъ быть выгоднымъ, какъ напр. это видно изъ схемы 1.

Строительная стоимость напорнаго трубопровода (C_f), уложеннаго въ нормальномъ рвѣ, длиной 1 и діаметромъ d , можетъ быть въ общемъ видѣ выражена въ видѣ четырехчлена:

$$C_f = a + bd + cd^2 + cd^3,$$

гдѣ a, b, c и e численные коэффициенты, выражающіе собой стоимость земляныхъ работъ по рытью рововъ, чугунныхъ трубъ, работъ и матеріала по задѣлкѣ стыковъ (Willner, Weiss). Нѣкоторые изслѣдователи (Шуховъ, Кнорре) ограничиваются для C_f трехчленомъ:

$$a + bd + cd^2$$

У нѣкоторыхъ же изслѣдователей (Максименка, Правдзика) C_f выражается въ видѣ бинорма $C_f = a + bd$, но нѣмецкіе авторы въ своихъ выводахъ придаютъ C_f видъ одночлена $C_f = k_f d_f$. Въ нашихъ выводахъ мы будемъ придерживаться послѣдняго обозначенія, такъ какъ при пользованіи экономическими формулами мы будемъ не въ состояніи употреблять каніе либо трубы діаметра промежуточнаго типа, а должны приобрѣтать имѣющіяся въ продажѣ трубы діаметра, ближайшаго большаго къ вычисленному.

Если же, какъ это обыкновенно и бываетъ, приходится укладывать трубы въ грунтахъ различной плотности или вслѣдствіе рѣзкаго очертанія профиля глубже установленной для данной мѣстности глубины или же вообще произвести нѣкоторые дополнительные расходы по укладкѣ трубъ (уширеніе рововъ, прокладка въ насыпяхъ, пересѣченіе болотъ и т. п.), то величина C_f увеличится на нѣкоторую конечную величину $m \angle C_f$.

Тогда

$$C'_f = C_f + m;$$

полагая

$$\frac{m}{C_f} = \alpha_i,$$

будемъ имѣть

$$C'_f = (1 + \alpha_i) C_f.$$

Это отношеніе стоимости добавочныхъ работъ къ нормальной стоимости рва будемъ называть *виртуальнымъ экономическимъ коэффициентомъ*, при-

бавляя къ нему для поясненія родъ дополнительной работы, къ которой онъ относится, такъ что получаются термины *виртуальный экономическій коэффициентъ уширенія, углубленія, укрѣпленія etc.*

Величина α ; различна для разнаго рода работъ и всецѣло зависитъ отъ мѣстныхъ цѣнъ на рабочія руки и матеріалы и отъ нормальнаго профиля рва напорной линіи.

Поперечный профиль рва съ шириной по дну a и откосами $1 : n \dots \omega = \left(a + \frac{h}{n} \right) h$; принимаемъ для нормальнаго профиля $a = 0,65$ мет.

и $n = 5$; h — глубина заложенія трубъ колеблется въ предѣлахъ отъ 1—3,5 метровъ въ зависимости отъ глубины промерзанія грунта въ данной полосѣ; среднее и чаще всего встрѣчающееся значеніе h для рвовъ 2,13 мет. (1 саж.); крайній меньшій предѣлъ отпосится къ южной полосѣ, а крайній большій къ сѣверной. При $h = 2,13 \omega = 2,30$ кв. мет.

Съ выборомъ h нужно быть весьма осторожнымъ; его не слѣдуетъ брать слишкомъ малымъ, во избѣжаніе порчи водопровода вслѣдствіе замерзанія въ немъ воды во время малаго разбора ея (ночью), но также не слѣдуетъ его *увеличивать безъ должныхъ основаній, такъ какъ это можетъ повести при неблагоприятныхъ мѣстныхъ условіяхъ къ увеличенію стоимости работъ.*

Такъ, значительное увеличеніе глубины рва на 0,10 мет. влечетъ за со-увеличеніе земляныхъ работъ при нормальномъ очертаніи рва на 150 куб. мет. на 1 километръ напорной линіи; но эти расходы ничтожны въ сравненіи съ тѣми, которые могутъ потребоваться, если при излишемъ углубленіи придется имѣть дѣло съ водоотливомъ, вызывающимъ въ свою очередь уширеніе площади рва или укрѣпленіе его стѣнокъ. Работы же съ водоотливомъ обходятся дороже нормальныхъ въ 5—10 и болѣе разъ.

Дополнительными работами при прокладкѣ трубъ можно считать:

1) уширеніе противу нормальнаго очертанія рвовъ, необходимое при разработкѣ обвалистыхъ грунтовъ;

2) углубленіе рвовъ, когда приходится прорѣзывать трубами холмы.

3) укрѣпленіе стѣнокъ рвовъ распорками или досчатыми стѣнками въ обвалистыхъ грунтахъ.

4) земляныя работы съ водоотливомъ.

5) разработка рвовъ въ твердыхъ грунтахъ, требующихъ примѣненія лома, кирокъ или клиньевъ, какъ-то: въ ломовой глинѣ, глинѣ съ примѣсью гальки, гравія или большаго количества валуновъ, въ щебенистомъ грунтѣ и пр.

6) разработка рвовъ въ сплошномъ камнѣ и скалѣ, требующихъ примѣненія взрывчатыхъ веществъ или клиньевъ.

7) устройство свайныхъ основаній подъ трубы въ болотистыхъ грунтахъ.

- 8) устройство насыпей при различной дальности возки изъ резервовъ.
- 9) перемощеніе мостовой.
- 10) корчевка пней и забивка шпунтовыхъ рядовъ и т. под.

Для всѣхъ этихъ работъ можно установить величины виртуальныхъ коэффициентовъ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и пр., которыя, конечно, должны быть опредѣлены въ каждомъ частномъ случаѣ.

Въ видѣ примѣра въ концѣ нашего труда приведемъ здѣсь величины коэффициентовъ α_1 выведенныхъ нами на основаніи нашего опыта, въ сѣверной полосѣ Россіи (см. Приложение стр. 76). Въ особенности необходимо составлять подобныя таблицы *при массовомъ проектированіи водопроводовъ*, какъ это имѣетъ мѣсто при постройкѣ желѣзнодорожныхъ линій.

Такимъ образомъ, если мы напорную линію длиной l_f разобьемъ на рядъ участковъ длиной $l_1, l_2, \dots, l_n$ сообразно роду имѣющихся на нихъ дополнительныхъ работъ и для каждаго изъ нихъ будутъ извѣстны виртуальные коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, то общая строительная стоимость подобной напорной линіи:

$$\begin{aligned}
 C_f &= [l_1(1 + \alpha_1) + l_2(1 + \alpha_2) + l_3(1 + \alpha_3) + \dots] d_f = \\
 &= \left[\sum_{i=1}^{i=n} l_i + \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i l_i \right] d_f = K_f l_f d_f \\
 K_f &= \frac{\sum_{i=1}^{i=n} l_i + \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i l_i}{l_f} \quad (8) \\
 &\text{Величина } \sum_{i=1}^{i=n} l_i
 \end{aligned}$$

въ общемъ случаѣ не равняется l_f , такъ какъ обыкновенно различныя дополнительные работы на одномъ и томъ же участкѣ совпадаютъ, напр. свайныя основанія и насыпь, уширеніе и водоотливъ и т. п.

Величину K_f мы будемъ называть *полнымъ виртуальнымъ экономическимъ коэффициентомъ напорной линіи*. Опредѣленіе его не представитъ затрудненій, если извѣстны величины l_i ; точное опредѣленіе нѣкоторыхъ изъ l_i до производства работъ невозможно, такъ какъ ихъ величина зависитъ отъ времени года, въ которое производится работы, какъ это напр. имѣетъ мѣсто при опредѣленіи протяженій рвовъ, въ которыхъ можетъ встрѣтиться водоотливъ; но для нашихъ цѣлей можно совершенно довольствоваться

приближенными значеніями, опредѣляемыми тщательными изысканіями путемъ устройства шурфовъ.

Кромѣ опредѣленія дополнительныхъ работъ при укладкѣ рвовъ иногда приходится сравнивать количество и стоимость искусственныхъ сооружений (водопроепускныхъ трубъ, сифоновъ, переѣздовъ, путепроводовъ и пр.), само собой разумѣется, что стоимость ихъ можетъ быть опредѣлена или по эскизнымъ проектамъ или по соответственнымъ приблизительнымъ формуламъ.

Для исчисленія наименьшей стоимости напорной линіи намъ необходимо опредѣлить для нея наивыгоднѣйшій діаметръ. Еще съ временъ Bress-Dupuit¹ было доказано, что наивыгоднѣйшій діаметръ напорной линіи не зависитъ отъ длины напорной линіи, а лишь отъ экономическихъ коэффициентовъ строительной стоимости 1 пог. метра трубы, строительной стоимости 1 лошади. силы водоподъемныхъ машинъ (со включеніемъ генераторовъ и водоподъемнаго зданія) и величины эксплуатаціонныхъ расходовъ, отнесенныхъ къ лошадиной силѣ, а также отъ величины средняго за годъ секунднаго расхода и числа часовъ качанія. Аналитически эта зависимость выражается по Smreker² такимъ образомъ:

$$d_f = A \sqrt{q} \quad (9)$$

гдѣ

$$A = \sqrt{\frac{k_p + \frac{3650}{3} \cdot s k_r}{k_f}}, \text{ гдѣ } k_p \text{ и } k_r \text{ коэффициенты строительной и эксплуатаціонной стоимости водоподъемныхъ устройствъ, отнесенные къ } 1 \text{ HP, } k_f \text{ стоимость 1 пог. метра трубы, } s \text{—число часовъ качанія и } q \text{—средній секунднй расходъ} = \frac{Q \text{ (суточн. расходъ)}}{s \times 60 \times 60}.$$

Эта зависимость представляется намъ недостаточно точной для опредѣленія діаметра напорной линіи, такъ какъ въ нее не входитъ ни вліяніе переменнаго возрастающаго со дня открытія водопровода количества протекающей по трубамъ воды, ни вліяніе финансовыхъ операцій, связанныхъ, обыкновенно, съ постройкой санитарно-инженерныхъ сооружений.

Вліяніе переменнаго расхода введено проф. Форхеймеромъ въ цитированномъ выше трудѣ, но, къ сожалѣнію, сдѣлано не совсѣмъ правильно вслѣдствіе примѣненія закона возрастанія расхода по прямой, а также еще

¹ см. Введеніе стр. 7.

² Smreker, Die Bestimmung der finanziell günstigsten Geschwindigkeit des Wassers in Druckrohren bei künstlicher Hebung.

вслѣдствіе нѣкоторыхъ математическихъ ошибокъ, допущенныхъ при его выводахъ.

Вліяніе величины различныхъ мѣстныхъ цѣнъ и матерьяловъ, конечно, не можетъ въ свою очередь не сказаться на выборѣ діаметра напорной линіи d_f , какъ объ этомъ упоминалось выше.

Перейдемъ къ опредѣленію d_f .

Діаметръ напорной трубы будетъ наивыгоднѣйшимъ, если годовые расходы на оплату процентовъ съ погашеніемъ части займа для возведенія сооруженія и эксплуатаціонные расходы будутъ наименьшими.

Напорная труба вслѣдствіе постояннаго возрастанія съ каждымъ годомъ потребления воды въ городѣ должна будетъ пропускать переменный расходъ. Законъ возрастанія опредѣлится изъ слѣдующихъ весьма простыхъ соображеній. При народонаселеніи въ моментъ открытія водопровода M_0 , средней нормѣ потребления r литровъ на человѣка въ сутки и при равномерномъ нагнетаніи въ теченіе s часовъ—средній секунднй расходъ $q_0 = \frac{rM_0}{s \times 3600}$, гдѣ rM_0 —средній за годъ расходъ въ сутки; черезъ нѣкоторое время x лѣтъ величина народонаселенія M_x при среднемъ ежегодномъ приростѣ m —‰-въ будетъ равна

$$M_x = M_0(1 + 0,01m)^x \quad (10)$$

$$q_x = \frac{rM_x}{s \times 3600} = q_0(1 + 0,01m)^x = a^x q_0 \quad (11)$$

Переменный расходъ вызоветъ, конечно, и переменную возрастающую работу насосовъ, которая будетъ мѣняться отъ N_0 до N_x ; для упрощенія задачи мы предположимъ, что водоподъемное зданіе нами построено и оборудовано для потребности того t -аго года, послѣ котораго водопроводъ долженъ подвергнуться расширенію пли переустройству. Такое предположеніе намъ кажется умѣстнымъ по той причинѣ, что у насъ въ Россіи за недостаткомъ точныхъ статистическихъ данныхъ потребление воды разсчитывается по гадательнымъ даннымъ, которые нерѣдко опровергаетъ жизнь, какъ напр. это имѣло мѣсто при разчетѣ Киевской канализаціи.

При опредѣленіи величины годовыхъ расходовъ необходимо имѣть въ виду, что изнашиваніе различныхъ частей напорнаго трубопровода неодинаково.

Такъ строительная стоимость напорной трубы длиной l_f и діаметромъ d_f — $c_f = d_f l_f K_f$, гдѣ K_f стоимость 1 пог. метра трубъ; для ея коммерческой амортизаціи можно считать достаточнымъ $t_f = 40$, если вода не производитъ разъѣдающаго дѣйствія на трубы, какъ это можетъ случиться съ водой, содержащей въ себѣ много свободной углекислоты.

Для водоподъемныхъ машинъ и двигателей, строительная стоимость которыхъ принимается большинствомъ авторовъ пропорціональной эффективной силѣ насосовъ т. е. $c_p = k_p N$, хозяйственная амортизація наступаетъ въ разные сроки въ теченіе 15—20 лѣтъ въ зависимости отъ рода топлива, двигателя, условій его работы и пр. Стоимость зданія принимается пропорціональной эффективной силѣ насосовъ и равняется $k_m N$, но его служба продолжается въ теченіе 40 лѣтъ.

Вслѣдствіе неравной амортизаціи различныхъ частей сооруженія необходимо извѣстную часть ихъ стоимости по мѣрѣ изнашиванія списывать со счета имуществъ и вводить это списываніе въ эксплуатаціонные расходы.

Далѣе, при постройкѣ всякаго водопровода должно быть принято во вниманіе увеличеніе прироста населенія въ теченіе нѣкотораго времени t , и поэтому весь расчетъ сѣти ведется при такомъ предположеніи. Это дѣлается, главнымъ образомъ, потому, что было бы технически невозможно постоянно придавать большую проводимость водопроводной сѣти, такъ какъ это могло бы привести къ возрастанію скоростей до предѣла, при которомъ бы произошла порча водопроводной сѣти. Что же касается водоподъемныхъ машинъ, то усиленіе ихъ работы можетъ быть произведено или постепеннымъ по мѣрѣ возрастанія расхода увеличеніемъ ихъ числа или увеличеніемъ числа часовъ ихъ работы. Для t предѣломъ берутъ 15—25, такъ какъ съ одной стороны весьма трудно предугадать приростъ населенія за большій промежутокъ времени, правильность котораго можетъ быть легко нарушена непредвидѣнными обстоятельствами, какъ напр. проведеніемъ желѣзной дороги, а съ другой стороны самый источникъ водоснабженія можетъ подвергнуться за періодъ времени t загрязненію, что въ свою очередь можетъ вызвать сооруженіе новаго водопровода или коренную перестройку стараго или, наконецъ, произойдетъ порча трубъ раньше, чѣмъ появится возможность эксплуатировать ихъ съ возможной выгодой.

Такимъ образомъ время, въ которое погашаются городскіе займы, t_0 , всегда будетъ больше t , и это обстоятельство должно быть учтено при исчисленіи годовыхъ расходовъ.

Строительный капиталъ, потребный для сооруженія водопровода, состоитъ изъ трехъ частей: $K_f l_f d_f$ (стоимость напорной линіи) $+ (k_p + k_m) N$ (стоимость машинъ) $+ M$ (стоимость искусственныхъ сооружений на напорной линіи).

Величина годового взноса при погашеніи занятаго строительнаго капитала въ теченіе t_0 лѣтъ при p_0 ‰ съ капитала равнаго 1 рублю

$$b = \frac{(1 + r_0)^{t_0} r_0}{(1 + r_0)^{t_0} - 1}, \quad \text{гдѣ } r_0 = \frac{p_0}{100}$$

Величину годового взноса P съ капитала равнаго 1 рублю въ теченіе времени t (время дѣйствія водопровода безъ расширенія) опредѣляемъ слѣд. образомъ. P должно быть больше b , такъ какъ $t < t_n$.

Изъ остатковъ, получающихся ежегодно и равныхъ $P - b$, въ теченіе t лѣтъ образуется капиталъ, считая по p %

$$k = \frac{(P - b)(e^t - 1)}{e - 1},$$

$$\text{гдѣ } e = 1 + \frac{p}{100}$$

Этотъ капиталъ k долженъ быть такъ подобранъ, чтобы онъ могъ служить источникомъ, откуда ежегодно можно было бы брать по b рублей въ теченіе $(t_n - t) = n$ лѣтъ.

Слѣд. капиталъ k къ концу 1 года обратился въ $ke - b$

$$\text{» } 2 \text{ » } \text{ » } ke^2 - be - b$$

$$\text{» } n \text{ » } \text{ » } ke^n - be^{n-1} - be^{n-2} \dots - b$$

Капиталъ къ концу n -ого года исчерпывается и потому

$$ke^n - be^{n-1} - be^{n-2} - \dots - b = 0 \quad \text{или} \quad ke^n = \frac{b(e^n - 1)}{e - 1}$$

$$\text{Подставляя } k \text{ и } n, \text{ получимъ } \frac{(P - b)(e^t - 1)}{e - 1} \cdot e^{t_0 - t} = \frac{b(e^{t_0 - t} - 1)}{e - 1}$$

$$\text{откуда } P = \frac{b(e^{t_0 - t} - 1) + b(e^t - 1)e^{t_0 - t}}{(e^t - 1)e^{t_0 - t}} = \frac{b(e^{t_0} - 1)}{(e^{t_0} - e^{t_0 - t})} \quad (12)$$

На основаніи предыдущаго годовые расходы будутъ состоять изъ слѣдующихъ частей:

1) оплаты процентовъ по займу съ погашеніемъ въ t лѣтъ

$$C_1 = \left[K_f l_f d + (k_p + k_m)N_t + M \right] P$$

2) постоянныхъ эксплуатаціонныхъ расходовъ, потребныхъ для содержанія напорной линіи, искусственныхъ сооружений и водоподъемнаго зда-

Таблицы для опредѣленія величинъ b и P имѣются въ книгѣ Глаголева: Теорія долгосрочныхъ финансовыхъ операцій. Табл. IV и V.

яии, что выразится величиной въ $3 - 3^{1/2}/_0$, считая, что $2^{1/2}/_0$ идетъ на регулярное уменьшеніе начальной стоимости названныхъ сооружений и $1^{1/2}/_0 - 1^0/_0$ на ихъ текущій ремонтъ; къ нимъ также слѣдуетъ причислить расходы по текущему ремонту водоподъемныхъ машинъ и генераторовъ съ двигателями

$$C_2 = \beta_1(K_f l_f d_f + k_m N_i + M) + \beta_2 k_p N_i, \text{ гдѣ } \beta_1 = 0,03 - 0,035;$$

величина β_2 для паровыхъ насосовъ обыкновенно $- 8^0/_0 - 9^0/_0$, для двигателей внутреннего сгорания $11 - 12^0/_0$, такъ какъ послѣдніе изнашиваются быстрѣе первыхъ; конечно на величину β_2 вліяетъ число часовъ работы насосовъ.

3) переменныхъ эксплуатаціонныхъ расходовъ (k_e), т. е. раеходовъ зависящихъ отъ переменнаго количества подаваемой насосами воды. Эти расходы состоятъ изъ слѣдующихъ частей:

а) расходы на источникъ энергіи для двигателей (топливо, токъ, воду, воздухъ); эти расходы далеко не постоянны, такъ какъ зависятъ отъ цѣнъ на рынкѣ, отъ стоимости рабочихъ рукъ, а также на ихъ величину вліяетъ разстояніе пункта добыванія источника энергіи до района потребленія. Такъ, напр. стоимость перевозки топлива иногда равняется стоимости самого топлива.

б) расходы на смазочный и набивочный матеріалъ для двигателей и насосовъ и по уходу за машинами; эти величины зависятъ всецѣло отъ умѣнія и опытности служебнаго персонала и въ дѣйствительности колеблются въ широкихъ предѣлахъ. Здѣсь умѣстно замѣтить, что для пониженія величины расходовъ по пунктамъ: а) и б) необходимо вести правильный учетъ топлива и расходуемыхъ матерьяловъ, а также журналы работы машинъ, отсутствіемъ которыхъ страдаютъ многія водопроводныя управленія въ Россіи.

в) расходы на очищеніе питательной воды и на охлаждающую воду; ими можно въ большинствѣ случаевъ въ виду незначительности пренебречь.

Если средній секундный расходъ воды въ теченіе (x) года $q_x = q_0 a^x$, то величина эксплуатаціонныхъ расходовъ за этотъ годъ равна

$$k_e N_x = k_e \frac{\Delta q_0 a^x}{75} \left(H_0 + \frac{1,1 \lambda l_f a^{2x} q_0^2}{d_f^5} \right)$$

Расходы за t лѣтъ равны

$$C_3 = \frac{\Delta k_e}{75} \left[H_0 q_0 \frac{a^t - 1}{a - 1} + \frac{1,1 \lambda l_f q_0^3}{d_f^5} \cdot \frac{a^{3t} - 1}{a^3 - 1} \right] \quad (13)$$

Эти переменные расходы мы замѣнимъ равномерной годовой платой въ течение каждаго изъ t лѣтъ

$$C_3 = \frac{C_3}{t} = \frac{\Delta k_e}{75t} \left[H_0 q_0 \frac{a^t - 1}{a - 1} + \frac{1,1\lambda l_f q_0^3 a^{3t} - 1}{d_f^5 a^3 - 1} \right]$$

Для удобства преобразованія получимъ общее выраженіе для среднихъ годовыхъ расходовъ

$$\begin{aligned} N_t = & \frac{\Delta q_0 a^t}{75} \left[H_0 + \frac{1,1\lambda l_f a^{2t} q_0^2}{d_f^5} \right] \\ C = C_1 + C_2 + C_3 = & (K_f l_f d_f + M) (P + \beta_1) + \\ & + \Delta q_0 H_0 \left\{ \frac{a^t}{75} \left[(P + \beta_1) k_m + (P + \beta_2) k_p \right] + \frac{k_e}{75t} \cdot \frac{a^t - 1}{a - 1} \right\} + \\ & + \frac{1,1\lambda l_f q_0^3}{d_f^5} \left\{ \frac{a^{3t}}{75} \left[(P + \beta_1) k_m + (P + \beta_2) k_p \right] + \frac{k_e}{75t} \cdot \frac{a^{3t} - 1}{a^3 - 1} \right\} \quad (14) \end{aligned}$$

Но для опредѣленія *наивыгоднѣйшаго діаметра* необходимо въ выраженіи (14) оставить лишь члены зависящіе отъ d_f , замѣнить K_f на k_f и затѣмъ для нахожденія минимума отъ полученнаго подобнымъ образомъ выраженія взять первую производную и приравнять нулю.

$$\begin{aligned} C_0 = k_f l_f d_f (P + \beta_1) + & \frac{1,1\lambda l_f q_0^3}{d_f^5} \left\{ \frac{a^3 [(P + \beta_1) k_m + (P + \beta_2) k_p]}{75} + \frac{k_e a^{3t} - 1}{75t a^3 - 1} \right\} = \\ = B_1 k_f l_f d_f + & \frac{1,1\lambda l_f q_0^3}{d_f^5} (B_2 k_p + B_3 k_m + B_4 k_e) \\ \frac{dC_0}{dd_f} = B_1 k_f l_f - & \frac{5,5\lambda l_f q_0^3}{d_f^6} (B_2 k_p + B_3 k_m + B_4 k_e) = 0 \\ d_f = \sqrt[6]{\frac{(B_2 k_p + B_3 k_m + B_4 k_e) 5,5\lambda l_f}{B_1 k_f}} \cdot \sqrt[6]{q_0} = A \sqrt[6]{q_0} \quad (15) \end{aligned}$$

или наивыгоднѣйшій діаметръ не зависитъ отъ длины напорной линіи l_f , а отъ коэффициентовъ стоимости k_f , k_p , k_m и k_e , отъ времени t , отъ прироста народонаселенія n , отъ процентовъ и времени погашенія городского займа, числа часовъ напечатація и средняго за годъ секунднаго начальнаго расхода q_0 .

Наивыгоднѣйшая скорость напорной линіи будетъ

$$v_1 = \frac{4q_0}{\pi d_f^3} = \frac{1,27}{A^2} = A_1 \quad (16)$$

т. е. *наивыгоднѣйшая скорость напорной линіи зависитъ отъ тѣхъ же величинъ, что и d_f , но совершенно не зависитъ отъ l_f* . Величина экономической скорости по нѣмецкимъ и русскимъ даннымъ получается около 0,8 мет.— 1 мет.

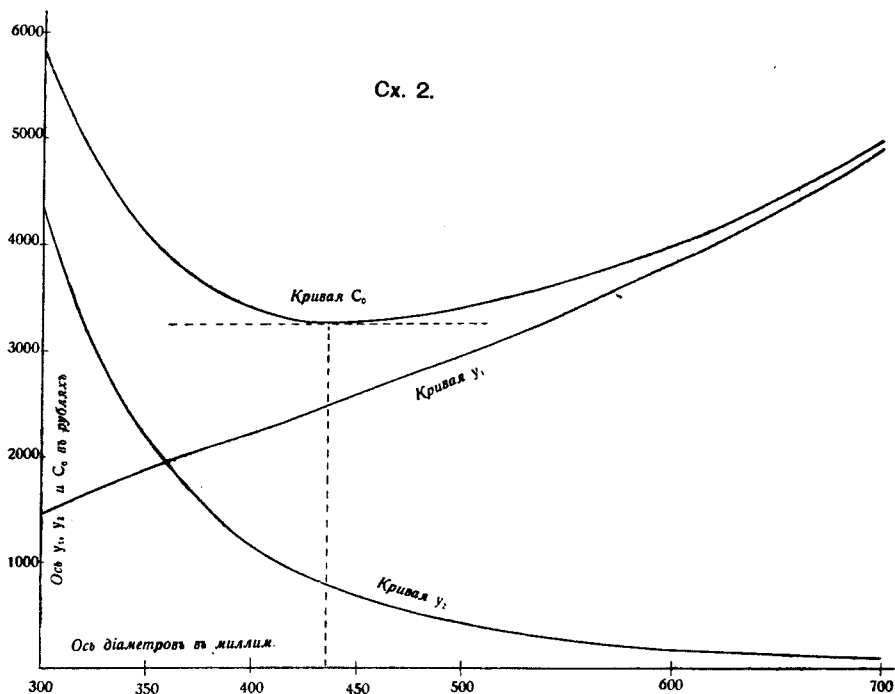
Какъ для опредѣленія годовыхъ расходовъ, такъ и для опредѣленія наивыгоднѣйшихъ діаметровъ напорной линіи является необходимымъ знать величины k_f , k_p , k_m и k_e , которые подобно всѣмъ экономическимъ коэффициентамъ завияетъ отъ мѣстныхъ цѣнъ на генераторы, двигатели, насосы, зданія, топливо и пр. и поэтому должны всякій разъ опредѣляться особо, но для облегченія пользованія выраженіемъ (15) мы приводимъ въ концѣ нѣсколько таблицъ экономическихъ коэффициентовъ k_f для чугунныхъ водопроводныхъ трубъ и коэффициентовъ k_p , k_m и k_e для паровыхъ насосовъ. Здѣсь мы не можемъ не указать, что намъ пришлось отступитъ отъ своего первоначальнаго намѣренія опредѣлить эти коэффициенты для разныхъ двигателей за отсутствіемъ данныхъ въ русской литературѣ. Да и для паровой силы мы должно были прибѣгнуть къ нѣмецкимъ даннымъ¹, увеличивъ таковыя по практическимъ соображеніямъ для русскихъ условій на 25%.

При подборѣ діаметра d_f мы сначала пользуемся значеніями коэффициентовъ, исходя изъ экономической скорости, но затѣмъ, если бы требовалась дальнѣйшая точность можно было бы прибѣгнуть ко второму приближенію, взявъ соответственные для подбора діаметра коэффициенты.

Задача о нахожденіи наивыгоднѣйшаго діаметра можетъ быть рѣшена графически, если принять, что функція d_f измѣняется непрерывно. Представимъ выраженіе для C_0 въ видѣ $C_0 = A_1 d_f + \frac{A_2}{d_f^3}$ и затѣмъ можемъ легко построить кривую, заданную этимъ выраженіемъ. Возьмемъ для этой цѣли численный примѣръ:

$$\begin{aligned} t_0 &= 60 \text{ лѣт.}; & p_0 &= 5\%; & t &= 20 \text{ лѣтъ}; & p &= 5\%; & q_0 &= 0,1 \frac{\text{кубичес. метр}}{\text{сек.}}; \\ m &= 2,5\%; & a &= 1,025; & s &= 16 \text{ часовъ}; & l_f &= 1000 \text{ мет.}; & \beta_1 &= 0,03, & \beta_2 &= 0,08; \\ P \text{ по форм. (12)} &= 0,08; & c_0 &= 110 & k_f d_f &+ \frac{1100\lambda}{d_f^5} \left[k_p \times 0,0094 + k \times 0,00645 + \right. \end{aligned}$$

$+ k_r \times 0,0284 \left] \right.$; беремъ изъ таблицы величины коэффициентовъ k_p , k_m и k_r и строимъ сначала кривую $y_1 = A_1 d_f$, а затѣмъ вторую кривую $y_2 = \frac{A_2}{d_f^5}$ и наконецъ, суммируя ординаты, кривую C_0 (см. сх. 2).



Разсмотрѣнный случай равномерной работы насосовъ имѣетъ примѣненіе при сооруженіи водопроводовъ, подающихъ небольшое количество воды до 200—400 куб. мет. въ сутки, гдѣ уравниваніе расхода въ теченіе сутокъ производится при помощи резервуаровъ небольшой емкости, какъ это напр. имѣетъ мѣсто для водопроводовъ небольшихъ городовъ, желѣзнодорожныхъ станцій, мастерскихъ, заводовъ, фабрикъ и пр.

При большемъ же потребленіи воды размѣры уравнительнаго резервуара получаются весьма значительными, такъ какъ онъ долженъ уравнивать большія колебанія расхода, превышающія средній часовой расходъ въ 2—3 раза. Въ этихъ случаяхъ добиваются уменьшенія объема уравнительныхъ резервуаровъ тѣмъ, что насосы работаютъ серіями въ зависимости отъ количества потребляемой воды; крайнимъ предѣломъ такой неравномерной работы насосовъ является полное уничтоженіе уравнительнаго резервуара, какъ это и имѣетъ мѣсто въ нѣкоторыхъ городахъ (напр. С.—Петербургъ).

Для случая неравномернаго нагнетанія выведенная нами формула (15) приметъ слѣдующій видъ.

Насосы, работая s часовъ, поднимаютъ въ сутки количество воды Q , равнявшееся при равномерномъ нагнетаніи $q_0 \times 3600 \times s$; при неравномерномъ нагнетаніи то же самое количество должно быть поднято въ сутки, но только подача воды будетъ по часамъ неодинакова.

Пусть $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — правильныя дроби, показывающія, какая часть суточного расхода нагнетается въ данный часъ соответственно въ теченіи $s_1, s_2, \dots, s_n$ часовъ.

$$\text{Отсюда } s_1\alpha_1 + s_2\alpha_2 + \dots + s_n\alpha_n = \sum_{i=1}^n s_i\alpha_i = 1$$

$$s_1 + s_2 + \dots + s_n = \sum_{i=1}^n s_i = s$$

Изъ всѣхъ подаваемыхъ количествъ въ теченіе часа нужно выбрать наибольшее для опредѣленія необходимой мощности насосовъ, что въ свою очередь отразится на строительной стоимости насосовъ. Пусть $\alpha_{\max.} Q$ будетъ наибольшимъ расходомъ въ часъ; секунднй расходъ въ теченіе t -го года

$$q_t = \alpha q_{\max.} = \frac{\alpha_{\max.} Q \alpha^t}{3600}$$

$$N_t = \frac{\Delta \alpha' q_{\max.}}{75} \left(H_0 + \frac{1,10\lambda l_f a^{2t} q_{\max.}^2}{d_f^5} \right)$$

$$C_1 + C_2 = (K_f l_f d_f + M) (P + \beta_1) + \\ + \frac{\Delta \alpha' q_{\max.}}{75} \left(H_0 + \frac{1,1\lambda l_f a^{2t} q_{\max.}^2}{d_f^5} \right) [k_m (\beta_1 + P) + k_p (\beta_2 + P)]$$

Работа насосовъ въ теченіе t -го года

$$365 \times 3600 (s_1 N_1 + s_2 N_2 + \dots + s_n N_n) = 365 \times 3600 \sum_{i=1}^n s_i N_{ei} \quad (17)$$

гдѣ

$$N = \frac{\Delta \alpha' q_i}{75} \left(H_0 + \frac{1,1\lambda l_f a^{2t} q_i^2}{d_f^5} \right) \text{ и } q_i = \frac{\alpha_i Q}{3600}$$

Выражение (17) по подстановкѣ превратится въ

$$\frac{365 \times 3600 \Delta a^t}{75} \left[H_0 \sum_{i=n}^{i=1} s_i q_i + \frac{1,1 \lambda l_f a^{2t}}{d_f^5} \sum_{i=n}^{i=1} q_i^3 s_i \right]$$

откуда работа въ течение t лѣтъ по предыдущему

$$\frac{365 \times 3600 \Delta}{75} \left[H_0 \frac{a^t - 1}{a - 1} \sum_{i=n}^{i=1} s_i q_i + \frac{1,1 \lambda l_f}{d_f^5} \cdot \frac{a^{3t} - 1}{a^3 - 1} \sum_{i=n}^{i=1} q_i^3 s_i \right]$$

такъ какъ насосы работают ежедневно $\sum_{i=n}^{i=1} s_i$ часовъ, то средняя мощность насосовъ

$$= \frac{\Delta}{75 t \sum_{i=n}^{i=1} s_i} \left[H_0 \frac{a^t - 1}{a - 1} \sum_{i=n}^{i=1} s_i q_i + \frac{1,1 \lambda l_f a^{3t} - 1}{d_f^5 a^3 - 1} \sum_{i=n}^{i=1} q_i^3 s_i \right]$$

Эксплуатационные расходы за годъ въ среднемъ равны:

$$C_s' = \frac{k_e \Delta}{75 t s} \left[H_0 \frac{a^t - 1}{a - 1} \sum_{i=n}^{i=1} s_i q_i + \frac{1,1 \lambda l_f (a^{3t} - 1)}{d_f^5 (a^3 - 1)} \sum_{i=n}^{i=1} s_i q_i^3 \right]$$

$$C' = (K_f l_f d_f + M) (P + \beta_1) +$$

$$\Delta H_0 \left\{ \frac{a^t q_{\max}}{75} \left[(P + \beta_1) k_m + (P + \beta_2) k_p \right] + \frac{k_e}{75 t s} \frac{a^t - 1}{a - 1} \sum_{i=n}^{i=1} s_i q_i \right\} +$$

$$+ \frac{1,1 \lambda l_f}{d_f^5} \left\{ \frac{a^{3t} q_{\max}^3}{75} \left[(P + \beta_1) k_m + (P + \beta_2) k_p \right] + \frac{k_e}{75 t s} \cdot \frac{a^{3t} - 1}{a^3 - 1} \times \sum_{i=n}^{i=1} s_i q_i^3 \right\} \quad (14')$$

$$C_0 = B_1 k_f l_f d_f + \frac{1,1 \Delta \lambda l_f}{75 d_f^5} \left\{ (B_2 k_p + B_3 k_m) q_{\max}^3 + k_e B_4 \sum_{i=n}^{i=1} q_i^3 s_i \right\}$$

$$\frac{dC_0}{dd_f} = 0; \text{ по сокращеніи на } l_f$$

$$1,1 \Delta \lambda \left[(B_2 k_p + B_3 k_m) q_{\max}^3 + k_e B_4 \sum_{i=n}^{i=1} q_i^3 s_i \right]$$

$$B_1 k_f - \frac{\quad}{15 d_f^6} = 0.$$

$$d_f = \sqrt[6]{\frac{1,1\Delta\lambda \left[(B_2 k_p + B_3 k_m) q^3_{\max} + k_e B_4 \sum_{i=1}^n q_i^3 s_i \right]}{15 B_1 k_f}} \quad (18)$$

При рѣшеніи этой задачи преимущество по нашему мнѣнію за способомъ аналитическимъ, въ особенности, если составить спеціальныя таблицы для входящихъ въ формулы величинъ.

Послѣ опредѣленія наивыгоднѣйшаго діаметра останется сравнить годовые расходы по всѣмъ сдѣланнымъ вариантамъ, пользуясь выраженіемъ (14) или (14') и подставивъ въ него наивыгоднѣйшее значеніе d_f ; наименьшая величина годовыхъ расходовъ опредѣлитъ намъ выборъ варианта.

Выбранное такимъ образомъ выраженіе C и C' даетъ намъ возможность исчислить и наивыгоднѣйшую среднюю стоимость подъема извѣстнаго количества воды на 1 метръ высоты.

За періодъ времени t —количество поданной воды будетъ

$$Q = 365 \times 3600 \, sq_0 \frac{a' - 1}{a - 1}$$

Стоимость подачи количества Q за періодъ времени t — Ct ; отсюда наивыгоднѣйшая средняя стоимость подъема 1 куб. метра на 1 метръ высоты

$$E = \frac{Ct}{Q H_0} = \frac{Ct(a - 1)}{365 \times 3600 \times sq_0 (a' - 1) H_0} \quad (19)$$

При неравномѣрномъ нагнетаніи:

$$E' = \frac{C't}{Q H_0} = \frac{C't(a - 1)}{365 \times 3600 (a' - 1) H_0 \sum_{i=1}^n s_i q_i} \quad (20)$$

Предлагаемый нами способъ опредѣленія наивыгоднѣйшаго направленія напорной линіи нѣсколько сложенъ, но зато онъ ведетъ къ сокращенію расходовъ по устройству напорнаго водопрода. При излишнемъ увеличеніи діаметра напорной линіи на 1 дюймъ (25 милл.) расходъ возрастаетъ въ среднемъ (см. Прил. табл. I) на $3 \times 500 = 1500$ р. на версту, что при большихъ протяженіяхъ можетъ составить крупную сумму въ нѣсколько десятковъ тысячъ рублей.

Глава III.

Въ предыдущей главѣ мы разсмотрѣли спеціальный случай, при которомъ приходится трассировать напорную линію, присоединяя ее къ существующей водопроводной распределительной сѣти.

На практикѣ чаще, конечно, встрѣчается случай сооруженія новаго водопровода, гдѣ на данномъ топографическомъ планѣ города и при извѣстныхъ величинахъ водопотребленія требуется спроектировать для этого города водопроводъ, состоящій, какъ извѣство изъ ряда спеціальныхъ сооружений¹, линіи, подводящей воду, и распределительной сѣти. Распределительная сѣть бываетъ разомкнутая и сомкнутая. Преимущества послѣдней предъ первой неоспоримы при примѣненіи ея въ городскихъ кварталахъ, которые изъ за метода непрерывнаго пользованія водой и изъ за могущихъ быть въ нихъ пожаровъ должны быть окружены трубами со всѣхъ сторонъ; за то первой приходится отдавать предпочтеніе предъ второй изъ экономическихъ соображеній при проектированіи тѣхъ водораспределительныхъ сѣтей, въ которыхъ протекаетъ только транзитный расходъ, какъ это напр. имѣетъ мѣсто для главныхъ трубъ оросительной трубной сѣти, для разводящей сѣти желѣзнодорожныхъ станцій, фабрикъ, мастерскихъ и пр., но здѣсь слѣдуетъ оговориться, что для охраны ихъ отъ пожара необходимо примѣненіе сомкнутой системы.

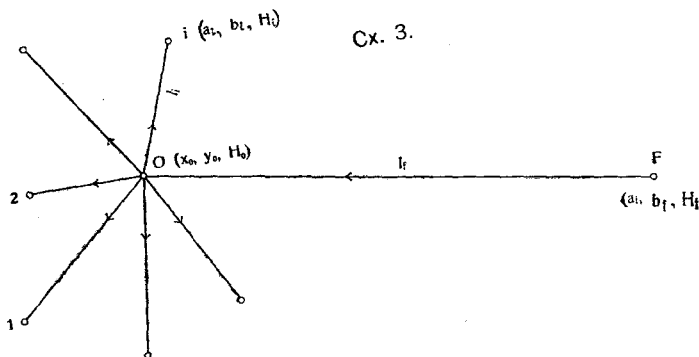
Одной изъ весьма трудныхъ задачъ является раціональное начертаніе трубной сѣти. Здѣсь могутъ встрѣтиться два случая: первый, когда мы совершенно свободны въ выборѣ направленія водопроводныхъ линій, и второй, когда направленіе линій водораспределенія опредѣляется очертаніемъ городскихъ кварталовъ.

Къ разсмотрѣнію перваго случая, имѣющаго мѣсто при проектированіи оросительной сѣти, мы и перейдемъ.

¹ см. Введеніе, стр. 6.

1. Источник водоснабжения находится вне города в точке F ; нам даны пьезометрические координаты n точек разбора воды ($a_1, b_1, H_1; a_2, b_2, H_2; \dots a_n, b_n, H_n$), расходы воды в этих точках $q_1, q_2, \dots q_n$ и пьезометрические координаты точки F (a_f, b_f, H_f) и расход в трубе l_f

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} q_i$$



Требуется найти пьезометрические координаты такой точки O (x_0, y_0, H_0), чтобы из нее вода разводилась к точкам разбора воды наимыгоднейшим с экономической точки зрения образом, при чем $H_f > H_0 > H_i$ для обеспечения движения воды в указанном стрелками направлении. Этой точке O мы дадим наименование *центра распределения*.

Уравнение стоимости размаатриваемой системы сводится к определению стоимости напорной линии l_f и n разводящих водопроводных линий l_i

$$C = k(l_f d_f + \sum_{i=1}^{i=n} l_i d_i) \quad (21)$$

$$\text{такъ какъ } l_i^2 = (x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2$$

$$\text{и } d_i = \frac{(1,1\lambda)^{1/5} q_i^{2/5} l_i^{1/5}}{(H_0 - H_i)^{1/5}}$$

то

$$C = k(1,1\lambda)^{1/5} \left\{ \frac{Q^{2/5} [(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{3/5}}{(H_f - H_0)^{1/5}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{q_i^{2/5} [(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{3/5}}{(H_0 - H_i)^{1/5}} \right\}$$

$$C = f(x_0, y_0, H_0)$$

Для нахождения minimum'a этой функции возьмем частныя производныя по каждой изъ трехъ независимыхъ переменныхъ и приравняемъ ихъ нулю. Послѣ нѣкоторыхъ преобразований мы получимъ систему изъ трехъ трансцендентныхъ уравненій съ тремя неизвѣстными

$$-\frac{(a_f - x_0)Q^{2/5}}{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{2/5}(H_f - H_0)^{1/5}} + \sum_{i=n}^{i=1} \frac{(x_0 - a_i)q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{2/5}(H_0 - H_i)^{1/5}} = 0$$

$$-\frac{(b_f - y_0)Q^{2/5}}{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{2/5}(H_f - H_0)^{1/5}} + \sum_{i=n}^{i=1} \frac{(y_0 - b_i)q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{2/5}(H_0 - H_i)^{1/5}} = 0$$

$$\frac{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{3/5} Q^{2/5}}{(H_f - H_0)^{6/5}} - \sum_{i=n}^{i=1} \frac{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{3/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}} = 0$$

или

$$\frac{(a_f - x_0)Q^{2/5}}{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{2/5}(H_f - H_0)^{1/5}} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{(x_0 - a_i)q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{2/5}(H_0 - H_i)^{1/5}} \quad (22)$$

$$\frac{(b_f - y_0)Q^{2/5}}{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{2/5}(H_f - H_0)^{1/5}} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{(y_0 - b_i)q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{2/5}(H_0 - H_i)^{1/5}} \quad (23)$$

$$\frac{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{3/5} Q^{2/5}}{(H_f - H_0)^{6/5}} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{3/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}} \quad (24)$$

Эти уравненія могутъ быть написаны также въ слѣдующемъ видѣ

$$\left. \begin{aligned} \frac{(a_f - x_0)Q^{2/5}}{l_f^{4/5}(H_f - H_0)^{1/5}} &= \sum_{i=n}^{i=1} \frac{(x_0 - a_i)q_i^{2/5}}{l_i^{4/5}(H_0 - H_i)^{1/5}} \\ \frac{(b_f - y_0)Q^{2/5}}{l_f^{4/5}(H_f - H_0)^{1/5}} &= \sum_{i=n}^{i=1} \frac{(y_0 - b_i)q_i^{2/5}}{l_i^{4/5}(H_0 - H_i)^{1/5}} \\ \frac{l_f^{6/5} Q^{2/5}}{(H_f - H_0)^{6/5}} &= \sum_{i=n}^{i=1} \frac{l_i^{6/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Представимъ эти уравненія въ такомъ видѣ:

$$\begin{aligned} a_i - x_0 &= \sum_{i=n}^{i=1} (x_0 - a_i) \left\{ \left(\frac{q_i}{Q} \right)^{2/5} \left(\frac{l_i}{l} \right)^{4/5} \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \right\} = \\ &= \sum_{i=n}^{i=1} (x_0 - a_i) m_i, \text{ гдѣ } m_i = \left(\frac{q_i}{Q} \right)^{2/5} \left(\frac{l_i}{l} \right)^{4/5} \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} - \end{aligned}$$

величина измѣняющаяся мало при перемѣнѣ значеній x_0 и y_0 въ тѣсныхъ предѣлахъ.

Отсюда

$$\begin{aligned} a_i - x_0 &= x_0 \sum_{i=n}^{i=1} m_i - \sum_{i=n}^{i=1} a_i m_i \\ x_0 &= \frac{a_i + \sum_{i=n}^{i=1} a_i m_i}{1 + \sum_{i=n}^{i=1} m_i} \end{aligned} \quad (26)$$

Аналогично

$$\begin{aligned} b_i + \sum_{i=n}^{i=1} b_i m_i \\ y_0 &= \frac{b_i + \sum_{i=n}^{i=1} b_i m_i}{1 + \sum_{i=n}^{i=1} m_i} \end{aligned} \quad (27)$$

Далѣе

$$\frac{1}{H_i - H_0} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{1}{(H_0 - H_i)} \left\{ \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \left(\frac{q_i}{Q} \right)^{2/5} \left(\frac{l_i}{l} \right)^{4/5} \right\}$$

или, если k —одно изъ чиселъ 1, 2, 3.....n,

$$\begin{aligned} \frac{1}{H_i - H_0} &= \frac{1}{H_0 - H_k} \sum_{i=n}^{i=1} \frac{H_0 - H_k}{H_0 - H_i} \left\{ \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \left(\frac{q_i}{Q} \right)^{2/5} \left(\frac{l_i}{l} \right)^{4/5} \right\} = \\ &= \frac{1}{H_0 - H_k} \sum_{i=n}^{i=1} p_i, \end{aligned}$$

гдѣ

$$p_i = \left(\frac{H_0 - H_k}{H_0 - H_i} \right) \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \left(\frac{q_i}{Q} \right)^{2/5} \left(\frac{l_i}{l} \right)^{6/5} = m_i \left(\frac{l_i}{l} \right)^2 \left(\frac{H_0 - H_k}{H_0 - H_i} \right)$$

т. е. p_i легко находится по m_i

Отсюда

$$H_0 = \frac{H_k + H_i \sum_{i=n}^{i=1} p_i}{1 + \sum_{i=n}^{i=1} p_i} \quad (28)$$

Такимъ образомъ мы въ вышеприведенныхъ формулахъ дали выраженія для искомыхъ *пъезометрическихъ координатъ центра распределенія* чрезъ рядъ чиселъ m_i и p_i , представляющихъ собою *функции тѣхъ же координатъ*. Если бы намъ удалось опредѣлить ихъ приближенное значеніе, то методомъ послѣдовательныхъ подстановокъ мы могли бы рѣшить наши уравненія.

Для этой цѣли мы сначала выразимъ наши уравненія (22)—(24) въ слѣдующемъ видѣ:

$$d_i cs(l_i, 0 X) = \sum_{i=n}^{i=1} d_i cs(l_i, 0 X) \quad (29)$$

$$d_i sn(l_i, 0 X) = \sum_{i=n}^{i=1} d_i sn(l_i, 0 X) \quad (30)$$

$$\frac{d_i l_i}{H_i - H_0} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{d_i l_i}{H_0 - H_i} \quad (31)$$

Уравненіе (29) можетъ быть представлено еще въ слѣдующемъ видѣ

$$\frac{d_i^6}{Q_i^2} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{d_i^6}{q_i^2} \quad (32)$$

или

$$\frac{Q^2}{v_i^3} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{q_i^2}{v_i^3} \quad (33)$$

$$\frac{d_f^2}{v_f^2} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{d_i^2}{v_i^2} \quad (34)$$

$$\frac{Q_f^{2/5}}{l_f^{6/5}} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{q_i^{2/5}}{l_i^{6/5}} \quad (35)$$

Видъ уравненій (29) и (30) напоминаетъ намъ условія равновѣсія, если принять діаметры водопроводныхъ линій за силы; такимъ образомъ въ случаѣ заданной величины для H_0 , наивыгоднѣйшее начертаніе сѣти будетъ тогда, когда діаметръ напорной линіи (равнодѣствующая) и діаметры разводныхъ линій (составляющія) образуютъ замкнутый многоугольникъ силъ. Этимъ свойствомъ мы и воспользуемся для нахождения приближенныхъ значеній x_0 , y_0 и H_0 .

Такъ какъ намъ величины d_f и d_i неизвѣстны, то мы сдѣлаемъ предположеніе, что $v_f = v_1 = \dots = v_i$, т. е. скорость во всѣхъ трубахъ одинакова.

Тогда уравненія (29)—(31) превратятся въ

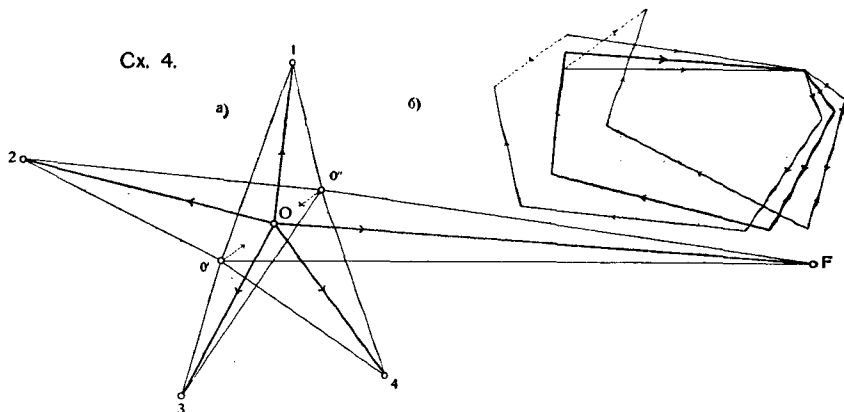
$$\sqrt{Q} \cdot \cos(l_f, OX) = \sum_{i=n}^{i=1} \sqrt{q_i} \cdot \cos(l_i, OX) \quad (36)$$

$$\sqrt{Q} \cdot \sin(l_f, OX) = \sum_{i=n}^{i=1} \sqrt{q_i} \cdot \sin(l_i, OX) \quad (37)$$

$$\frac{l_f \sqrt{Q}}{H_f - H_0} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{l_i \sqrt{q_i}}{H_i - H_0} \quad (38)$$

На основаніи уравненій (36) и (37) строимъ ехему (4) и находимъ приближенное положеніе центра распредѣленія O путемъ построенія пробныхъ веревочныхъ многоугольниковъ и многоугольниковъ силъ. Сначала, нанеся на чертежъ точки F и $1, 2, \dots, n$, выбираемъ произвольно положеніе точки O' , соединяемъ ее съ точками $F, 1, \dots, n$ и откладываемъ по ихъ направленіямъ силы $\sqrt{Q}, \sqrt{q_1}, \sqrt{q_2}$ и т. д.; если эта точка будетъ выбрана вѣрно, то многоугольникъ силъ, построенный для $n+1$ силъ, будетъ замкнутымъ; въ противномъ случаѣ направленіе и величина равнодѣствующей покажетъ намъ, куда нужно передвинуть точку O

и насколько. Для этой точки строимъ новый многоугольникъ силъ и т. д., пока равнодействующая не обратится въ нуль или не сдѣлается очень малой, что для перваго приближенія вполне достаточно; средний многоугольникъ сх. 4 б) удовлетворяетъ вышесказанному.



Полученныя для x_0, y_0 и H_0 значенія подставляемъ въ правыя чаеги выражений (26—28) и изъ нихъ получаемъ новыя значенія для координатъ; затѣмъ продолжаемъ послѣдовательныя подстановки до тѣхъ поръ, пока не достигнемъ желаемой степени точности. Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что первоначальныя значенія x_0 и y_0 можно подобрать *довольно точно графически*, и что въ дальнѣйшихъ подстановкахъ они измѣняются въ весьма тѣсныхъ предѣлахъ; поэтому значеніе H_0 можно принять постояннымъ и равнымъ полученному приближенному значенію.

По установленіи координатъ цѣнтра распредѣленія опредѣленіе діаметровъ совершается по обычнымъ формуламъ гидравлики.

Поясимъ вышесказанное примѣромъ.

Даны:

$Q_f = 0,49$ куб. м.	$a_f = 1000$ м.	$b_f = 0$	$H_f = 100$
$q_1 = 0,09$ куб. м.	$a_1 = 0$	$b_1 = 200$	$H_1 = 10$
$q_2 = 0,36$ куб. м.	$a_2 = -200$	$b_2 = 50$	$H_2 = 20$
$q_3 = 0,04$ куб. м.	$a_3 = 100$	$b_3 = -200$	$H_3 = 10$

Требуется найти пьезометрическія координаты точки O.

$$x_0 = \frac{1000 + 117 - 604}{7,66} = 67$$

$$y_0 = \frac{494 + 151 - 234}{7,66} = 53,6$$

Будемъ искать второе приближеніе, принимая систему

$$x_0 = 67; \quad y_0 = 53 \quad \text{и} \quad H_0 = 40.$$

Тогда

$$m_1 = \left(\frac{9 \times 873298 \times 1,41}{49 \times 26098} \right)^{2/5} = 2,37$$

$$m_2 = \left(\frac{26 \times 873298 \times 1,73}{49 \times 71298} \right)^{2/5} = 3,00$$

$$m_3 = \left(\frac{4 \times 873298 \times 1,41}{49 \times 65098} \right)^{2/5} = 1,19$$

$$\Sigma m_i = 6,56$$

$$x_0 = 68,5; \quad y_0 = 51,1; \quad H_0 = 40$$

Третье приближеніе

$$m_1 = 2,34$$

$$m_2 = 2,98$$

$$m_3 = 1,20$$

$$\Sigma m_i = 6,52$$

$$x_0 = 69,7 \quad y_0 = 50,2$$

Четвертое и послѣднее приближеніе, для котораго принимаемъ

$$x_0 = 70 \quad y_0 = 50 \quad H_0 = 40$$

$$m_1 = 2,32$$

$$m_2 = 2,96$$

$$m_3 = 1,20$$

$$\Sigma m_i = 6,48$$

$$x_0 = 70,2 \quad y_0 = 49,8$$

Въ виду того, что разни́ца между послѣдними значеніями x_0 и y_0 незначительна и составляетъ для $x_0 = 0,286\%$, а для $y_0 = 0,4\%$, т. е. меньше 1% , то можно остановиться на значеніи $x_0 = 70$ $y_0 = 50$ и $H_0 = 40$.

Мы во всѣхъ постановкахъ принимали H_0 постояннымъ; точное значеніе его мы можемъ опредѣлить по формулѣ (28).

$$H_k = 10; \quad p_1 = 0,073$$

$$p_2 = 0,374$$

$$p_3 = 0,088$$

$$\Sigma p_i = 0,535 \quad \text{и} \quad H_0 = 41,3$$

Разница между значеніями принятымъ и полученнымъ для H_0 въ $3,25\%$ не имѣетъ практическаго значенія, такъ какъ точный подборъ диаметровъ трубъ ограниченъ сортаментомъ.

Дѣйствительно опредѣлимъ диаметры водопроводныхъ линій при установленныхъ нами пьезометрическихъ координатахъ центра распределенія.

$$d_1 = \left(\frac{0,00267 \times 0,2401 \times 936}{60} \right)^{1/3} = 0,4005$$

$$d_1 = \left(\frac{0,00267 \times 0,0081 \times 164}{30} \right)^{1/3} = 0,1649$$

$$d_2 = \left(\frac{0,00267 \times 0,1296 \times 265}{20} \right)^{1/3} = 0,3426$$

$$d_3 = \left(\frac{0,00267 \times 0,0016 \times 252}{30} \right)^{1/3} = 0,1361$$

Такихъ диаметровъ въ продажѣ не имѣется, а потому придется взять ближайшія большія величины по нормальному метрическому сортаменту, а именно

$$\text{виѣто} \quad 0,4005 \quad \text{—} \quad 0,400 \text{ мет.}$$

$$, \quad 0,1649 \quad \text{—} \quad 0,175 \quad ,$$

$$, \quad 0,3426 \quad \text{—} \quad 0,350 \quad ,$$

$$, \quad 0,1361 \quad \text{—} \quad 0,150 \quad ,$$

Изъ этой задачи также можно видѣть, какъ мало измѣняется величина Σm_i при измѣненіи x_0 и y_0 въ тѣсныхъ предѣлахъ поелѣ графическаго построения.

Все вышеизложенное даетъ намъ возможность заключить, что для *практическихъ цѣлей можно ограничиться однимъ графическимъ построениемъ.*

Для поясненія хода нашей задачи мы приводимъ слѣдующую таблицу:

Наименованіе приближеній.	Принятые значенія.		Получен- ныя знач.		Разница.		Точность въ %.	
	x_n	y_0	x_0	y_0	x_0	y_0	x_0	y_0
Первое	65	60	67	53,6	2	6,4	3,08	10,7
Второе , . . .	67	53	68,5	51,1	1,5	1,9	2,24	3,54
Третье	69	51	69,7	50,2	0,7	0,8	1,01	1,57
Четвертое . . .	70	50	70,2	49,8	0,2	0,2	0,286	0,4

Теперь мы перейдемъ къ разсмотрѣнію *второй* основной задачи, когда кромѣ трехъ переменныхъ x_0 , y_0 , H_0 и H_f будетъ переменнымъ, *т. е. напоръ, подъ которымъ машинами нагнетается вода къ центру распре-
дленія O можетъ имѣть произвольное значеніе.*

Тогда задача, болѣе общая, чѣмъ первая будетъ поставлена такимъ образомъ:

Источникъ водоснабженія находится внѣ города; въблизи его расположена машинная станція для подъема воды, центръ которой обозначимъ буквою F . Намъ даны координаты точки F , a_f и b_f , пьезометрическія координаты n —точекъ разбора воды ($a_1, b_1, H_1; a_2, b_2, H_2; \dots a_n, b_n, H_n$), расходы воды въ этихъ точкахъ $q_1, q_2 \dots q_n$ и въ трубѣ

$$l_f - Q = \sum_{i=1}^{n-1} q_i.$$

Требуется найти наивыгоднѣйшее съ экономической точки зрѣнія положеніе центра распределенія O , т. е. ея пьезометрическія координаты и H_f —пьезометрическую высоту въ точкѣ F .

Величина стоимости этой системы C будетъ сводиться къ стоимости напорной и разводящихъ водопроводныхъ линій, стоимости водоподъемнаго

зданія съ оборудованіемъ и капитализированной суммы годовыхъ расходовъ на эксплуатацію.

Такимъ образомъ

$$C = k \left(d_i l_i + \sum_{i=n}^{i=1} d_i l_i \right) + A Q H_i,$$

гдѣ

$$A = \left(k_p + k_m + \frac{100 k_e}{m} \right) \frac{\Delta}{75},$$

причемъ m обозначаетъ число 0/о-овъ, по которымъ капитализируется сумма, затрачиваемая въ годъ на эксплуатацію, а остальные буквы имѣютъ тѣ-же значенія, что и во второй главѣ.

Замѣнивъ d_i и l_i ихъ выраженіями (см. стр. 32), мы можемъ представить C какъ функцію четырехъ независимыхъ переменныхъ x_0 , y_0 , H_0 и H_i .

$$\begin{aligned} C = f(x_0, y_0, H_0, H_i) = \\ = k(1,10\lambda)^{1/5} \left\{ \frac{Q^{2/5} [(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{3/5}}{(H_i - H_0)^{1/5}} + \sum_{i=n}^{i=1} \frac{q_i^{2/5} [(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{3/5}}{(H_0 - H_i)^{1/5}} \right\} + \\ + A Q H_i \end{aligned} \quad (39)$$

Для нахождения minimum'a этой функціи возьмемъ частныя производныя по каждому изъ независимыхъ переменныхъ. Новая система уравненій будетъ отличаться отъ системы (22)–(24) добавленіемъ новаго уравненія относительно H_i , и наша задача сведется къ совместному рѣшенію 4-хъ уравненій.

$$\begin{aligned} \frac{(a_i - x_0) Q^{2/5}}{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{3/5} (H_i - H_0)^{1/5}} &= \sum_{i=n}^{i=1} \frac{(x_0 - a_i) q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{3/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} \\ \frac{(b_i - y_0) Q^{2/5}}{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{3/5} (H_i - H_0)^{1/5}} &= \sum_{i=n}^{i=1} \frac{(y_0 - b_i) q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{3/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} \\ \frac{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{3/5} Q^{2/5}}{(H_i - H_0)^{6/5}} &= \sum_{i=n}^{i=1} \frac{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{3/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}} \end{aligned}$$

$$\frac{k(1,10\lambda)^{1/5}[(a_t - x_0)^2 + (b_t - y_0)^2]^{3/5} Q^{2/5}}{5(H_t - H_0)^{6/5}} = A Q$$

Или

$$\left. \begin{aligned} \frac{(a_t - x_0) Q^{2/5}}{l_t^{4/5} (H_t - H_0)^{1/5}} &= \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(x_0 - a_i) q_i^{2/5}}{l_i^{4/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} & (\alpha) \\ \frac{(b_t - y_0) Q^{2/5}}{l_t^{4/5} (H_t - H_0)^{1/5}} &= \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(y_0 - b_i) q_i^{2/5}}{l_i^{4/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} & (\beta) \\ \frac{l_t^{6/5} Q^{2/5}}{(H_t - H_0)^{6/5}} &= \sum_{i=1}^{i=n} \frac{l_i^{6/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}} & (\gamma) \\ \frac{l_t^{6/5} Q^{2/5}}{(H_t - H_0)^{6/5}} &= \left[\frac{5A}{k(1,10\lambda)^{1/5}} \right] Q & (\delta) \end{aligned} \right\} (40)$$

Возвышая въ степень $1/6$, получаемъ изъ уравненія (δ)

$$(H_t - H_0)^{1/5} = \frac{l_t^{1/5} Q^{2/10}}{\left[\frac{5A}{k(1,10\lambda)^{1/5}} \right]^{1/6} Q^{1/6}} = \frac{l_t^{1/5}}{B Q^{1/10}}$$

гдѣ

$$\left[\frac{5A}{k(1,10\lambda)^{1/5}} \right]^{1/6} = B$$

подставляя въ ур. (α), получимъ

$$\frac{(a_t - x_0) Q^{2/5} B Q^{1/10}}{l_t} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(x_0 - a_i) q_i^{2/5}}{l_i^{4/5} (H_0 - H_i)^{1/5}}$$

или

$$(a_t - x_0) = \sum_{i=1}^{i=n} (x_0 - a_i) \left\{ \frac{q_i^{2/5} l_t}{B Q^{1/2} l_i^{1/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} \right\} = \sum_{i=1}^{i=n} (x_0 - a_i) m_i$$

гдѣ

$$m_i = \frac{q_i^{2/5} l_t}{B Q^{1/2} l_i^{4/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} = \frac{q_i^{2/5}}{B Q^{1/2}} \left(\frac{l_t}{l_i} \right) \left(\frac{l_i}{H_0 - H_i} \right)^{1/5}$$

$$x_0 = \frac{a_t + \sum_{i=n}^{i=1} a_i m_i}{1 + \sum_{i=n}^{i=1} m_i} \quad (41)$$

Аналогично

$$y_0 = \frac{b_t + \sum_{i=n}^{i=1} b_i m_i}{1 + \sum_{i=n}^{i=1} m_i} \quad (42)$$

Изъ уравненій (γ) и (δ) имѣемъ

$$B^6 Q = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{l_i^{6/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}}$$

Если H_k одно изъ значеній H_i , то

$$\begin{aligned} B^6 Q &= \frac{1}{(H_0 - H_k)^{6/5}} \sum_{i=n}^{i=1} \frac{l_i^{6/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}} (H_0 - H_k)^{6/5} \\ (H_0 - H_k)^{6/5} &= \sum_{i=n}^{i=1} \left(\frac{H_0 - H_k}{H_0 - H_i} \right)^{6/5} \frac{l_i^{6/5} q_i^{2/5}}{B^6 Q} = \sum_{i=n}^{i=1} p_i \\ H_0 &= H_k + \left(\sum_{i=n}^{i=1} p_i \right)^{5/6} \end{aligned} \quad (43)$$

Затѣмъ изъ ур. (δ)

$$\begin{aligned} (H_t - H_0)^{6/5} &= \frac{l_t^{6/5} Q^{2/5}}{B^6 Q} \\ H_t &= H_0 + \frac{l_t}{B^5 Q^{1/2}} = H_k + \frac{l_t}{B^5 Q^{1/2}} + \left\{ \sum_{i=n}^{i=1} p_i \right\}^{5/6} \end{aligned} \quad (44)$$

Рѣшеніе этой задачи нѣсколько сложнее предыдущей, которая легко получится изъ первой задачи, если принять H_t постояннымъ. Приемъ рѣшенія для отысканія верныхъ приближенныхъ значеній по предыдущему — графическій.

Пояснимъ вышесказанное примѣромъ.

Даны:

$$Q_i = 0,49 \text{ кб. м.} \quad a_i = 1000 \text{ м.} \quad b_i = 0$$

$$q_1 = 0,09 \text{ кб. м.} \quad a_1 = 0 \quad b_1 = 200 \quad H_1 = 10$$

$$q_2 = 0,36 \text{ кб. м.} \quad a_2 = -200 \quad b_2 = 50 \quad H_2 = 20$$

$$q_3 = 0,04 \text{ кб. м.} \quad a_3 = 100 \quad b_3 = -200 \quad H_3 = 10$$

$$k = 56; \quad k_p = 315; \quad k_m = 60; \quad k_s = 54; \quad m = 5; \quad \lambda = 0,00243;$$

Требуется найти пьезометрическія координаты точки O .

Дѣлаемъ необходимыя построения для нахождения приближеннаго положенія точки O (схема 4' стр. 38).

Получаемъ изъ построения

$$x_0 = 65 \text{ мет.}; \quad y_0 = 60 \text{ мет.}$$

Приближенное значеніе H_0 опредѣлится изъ уравненія

$$\frac{\sqrt{Q} l_i}{H_i - H_0} = \sum_{i=3}^{i=1} \frac{\sqrt{q_i} l_i}{H_0 - H_i},$$

исключивъ изъ него $H_i - H_0$ помощью уравненія

$$\frac{l_i^{6/5} Q^{2/5}}{(H_i - H_0)^{6/5}} = \frac{5 A}{k(1,1\lambda)^{1/5}} \cdot Q$$

Откуда

$$\frac{\sqrt{Q} l_i}{H_i - H_0} = \left[\frac{5 A}{k(1,1\lambda)^{1/5}} \right]^{5/6} Q = \sum_{i=3}^{i=1} \frac{\sqrt{q_i} l_i}{H_0 - H_i}$$

$$A = \left(k_p + k_m + \frac{100 k_s}{m} \right) \frac{\Delta}{75} = \left(315 + 60 + 54 \times 20 \right) \frac{1000}{75} = 19400$$

$$\left[\frac{5 A}{k(1,1\lambda)^{1/5}} \right]^{5/6} Q = \left[\frac{5 \times 19400}{56 \times (0,002673)^{1/5}} \right]^{5/6} \cdot 0,49 = 637,4$$

Слѣдовательно

$$6574 = \frac{3 \times 154}{H_0 - 10} + \frac{6 \times 265}{H_0 - 20} + \frac{2 \times 262}{H_0 - 10}$$

$$H_0^2 - 30,392 H_0 + 205,42 = 0$$

$$H_0 = \infty 20,245 \text{ метр.}$$

Полученныя значенія подставляемъ въ выраженія для m_i

$$m_1 = \frac{(0,09)^{2/5}}{(5665)^{1/5} \times 0,7} \left(\frac{937}{154} \right) \left(\frac{154}{10,245} \right)^{1/5} = 1,35$$

$$m_2 = \frac{(0,36)^{2/5}}{(5665)^{1/5} \times 0,7} \left(\frac{937}{265} \right) \left(\frac{265}{0,245} \right)^{1/5} = 3,21$$

$$m_3 = \frac{(0,04)^{2/5}}{(5665)^{1/5} \times 0,7} \left(\frac{936}{262} \right) \left(\frac{262}{10,245} \right)^{1/5} = 0,64$$

$$\Sigma m_i = 5,20$$

$$x_0 = \frac{1000 - 642 + 64}{6,2} = 68$$

$$y_0 = \frac{270 + 160,5 - 128}{6,2} = 48,7$$

Будемъ искать второе приближеніе, принимая систему $x_0=68$, $y_0=48$
и $H_0=20,245$.

Тогда

$$m_1 = 1,26$$

$$m_2 = 3,17$$

$$m_3 = 0,66$$

$$\Sigma m_i = 5,09$$

$$\text{и } x_0 = 71 \quad y_0 = 45,7.$$

Для третьяго приближенія примемъ $x_0 = 72$ и $y_0 = 43$.

Тогда

$$m_1 = 1,220$$

$$m_2 = 3,120$$

$$m_3 = 0,667$$

$$\Sigma m_i = 5,007$$

$$\text{и } x_0 = 73,7 \quad y_0 = 44,5.$$

Для четвертаго приближенія примемъ $x_0 = 75$ и $y_0 = 44$.

Тогда

$$m_1 = 1,2166$$

$$m_2 = 3,0847$$

$$m_3 = 0,6659$$

$$\Sigma m_i = 4,9672$$

$$x_0 = 75,355 \quad y_0 = 44,305.$$

Въ виду того, что разница между послѣдними значеніями x_0 и y_0 незначительна, можно остановиться на значеніяхъ

$$x_0 = 75; \quad y_0 = 44 \quad \text{и} \quad H_0 = 20,245.$$

Мы во всѣхъ подстановкахъ принимали H_0 постояннымъ и равнымъ 20,245 метр. Точное значеніе его мы можемъ опредѣлить по формулѣ (43), принимая для перваго приближенія $x_0 = 75$, $y_0 = 44$ и $H_0 = 20,245$.

$$H_k = 10; \quad p_1 = 0,066677$$

$$p_2 = 17,86300$$

$$p_3 = 0,073183$$

$$\Sigma p_i = 18,00286 \quad \text{и} \quad H_0 = 21,12.$$

Для втораго приближенія примемъ $H_0 = 20,3$.

Тогда

$$p_1 = 0,066677$$

$$p_2 = 14,09900$$

$$p_3 = 0,073183$$

$$\Sigma p_i = 14,23886 \quad \text{и} \quad H_0 = 19,146.$$

Третье приближеніе; принято $H_0 = 20,26$

$$\Sigma p_i = 16,802860$$

Получено $H_0 = 20,5$.

Четвертое приближеніе; принято $H_0 = 20,27$.

Тогда

$$\Sigma p_i = 16,083860 \text{ и получено } H_0 = 20,12$$

$$\text{Слѣд. } 20,27 > H_0 > 20,26.$$

Наконецъ (пятое приближеніе) принято $H_0 = 20,265$.

Тогда

$$\Sigma p_i = 16,43586 \text{ и } H_0 = 20,31.$$

Такимъ образомъ можно сказать, что H_0 заключается въ предѣлахъ 20,265 и 20,270.

Принимая $H_0 = 20,265$ м., получаемъ

$$H_t = H_0 + \frac{l_t}{B^3 Q^{1/2}} = 20,265 + \frac{926}{0,7 \times 1342} = 21,25 \text{ метр.}$$

Для практическихъ цѣлей можно довольствоваться первоначальнымъ значеніемъ $H_0 = 20,245$ мет.

Опредѣлимъ діаметры при установленныхъ нами пьезометрическихъ координатахъ

$$d_t = \left(\frac{0,002673 \times 0,2401 \times 926}{0,985} \right)^{1/5} = 0,9029 \text{ метр.}$$

$$d_1 = \left(\frac{0,002673 \times 0,0081 \times 173}{10,265} \right)^{1/5} = 0,2052 \text{ метр.}$$

$$d_2 = \left(\frac{0,002673 \times 0,1296 \times 275}{0,265} \right)^{1/5} = 0,8266 \text{ метр.}$$

$$d_3 = \left(\frac{0,002673 \times 0,0016 \times 245}{10,265} \right)^{1/5} = 0,1591 \text{ метр.}$$

Трубы такихъ діаметровъ въ продажѣ не имѣется, а потому придется взять ближайшія большія величины по нормальному метрическому сор-таменту, а именно:

вмѣсто 0,9029 — 0,900 метр.

„ 0,2052 — 0,200 „

„ 0,8266 — 0,900 „

„ 0,1591 — 0,175 „

Скорость въ напорной трубѣ будетъ

$$V_f = \frac{4Q}{\pi a^2} = 0,77 \text{ метр.},$$

что весьма близко къ нормальной величинѣ наивыгоднѣйшей скорости найденной различными взлѣдователями.

Теперь мы перейдемъ къ разсмотрѣнію *третьей* задачи, которая заключается въ слѣдующемъ.

Имѣется n точекъ, къ которымъ вмѣсто расхода q_i , какъ это было въ прежнихъ задачахъ, подается $q_i=0$ или другими словами вся вода расходуется на пути.

Даны по прежнему пьезометрическія координаты точекъ n и точки F .

Требуется найти пьезометрическія координаты центра распредѣленія O .

При этой задачѣ извѣстное намъ выраженіе (21) превратится въ

$$C = k(1,10\lambda)^{1/5} q^{2/5} \left[\frac{\left(\sum_{i=n}^{i=1} l_i \right)^{2/5} l_i^{6/5}}{(H_f - H_0)^{1/5}} + \sum_{i=n}^{i=1} \frac{l_i^{8/5}}{(H_0 - H_i)^{1/5}} \right] \quad (45)$$

такъ какъ $q_i = q l_i$, гдѣ q — расчетный расходъ на единицу длины трубы,

$$\text{а слѣдовательно } Q = \sum_{i=n}^{i=1} q_i = q \sum_{i=n}^{i=1} l_i$$

Выразимъ по прежнему C , какъ функцію x_0 , y_0 и H_0 .

$$C = k(1,10\lambda)^{1/5} \left\{ \frac{\left[\sum_{i=n}^{i=1} \left[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right]^{1/2} \right]^{2/5} \left[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2 \right]^{3/5}}{(H_f - H_0)^{1/5}} + \sum_{i=n}^{i=1} \frac{\left[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right]^{4/5}}{(H_0 - H_i)^{1/5}} \right\} \quad (46)$$

Видъ числителя перваго члена намъ указываетъ, что при дифференцированіи выраженія (46) по x_0 и y_0 у насъ получится 3 n членовъ, тогда какъ въ двухъ первыхъ задачахъ мы получили $n + 1$ членовъ.

Дѣйствительно послѣ дифференцированія по x_0 , y_0 и H_0 заключеннаго въ скобкахъ выраженія, мы получимъ

$$\begin{aligned} & \frac{3 \left[\sum_{i=n}^{i-1} \left\{ (x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right\}^{1/2} \right]^{2/5} (a_i - x_0)}{(H_i - H_0)^{4/5} [(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{2/5}} \\ & - \frac{\left[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2 \right]^{3/5} \sum_{i=n}^{i-1} \frac{x_0 - a_i}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{1/2}}}{(H_i - H_0)^{4/5} \left[\sum_{i=n}^{i-1} \left\{ (x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right\}^{1/2} \right]^{3/5}} = \\ & = 4 \sum_{i=n}^{i-1} \frac{x_0 - a_i}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{1/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} \quad (47) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{3 \left[\sum_{i=n}^{i-1} \left\{ (x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right\}^{1/2} \right]^{2/5} (b_i - y_0)}{(H_i - H_0)^{4/5} [(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{2/5}} \\ & - \frac{\left[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2 \right]^{3/5} \sum_{i=n}^{i-1} \frac{y_0 - b_i}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{1/2}}}{(H_i - H_0)^{4/5} \left[\sum_{i=n}^{i-1} \left\{ (x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right\}^{1/2} \right]^{3/5}} = \\ & = 4 \sum_{i=n}^{i-1} \frac{y_0 - b_i}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{1/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} \quad (48) \\ & \frac{\left[\sum_{i=n}^{i-1} \left\{ (x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right\}^{1/2} \right]^{2/5} \left[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2 \right]^{3/5}}{(H_i - H_0)^{6/5}} \\ & = \sum_{i=n}^{i-1} \frac{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{4/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}} \quad (49) \end{aligned}$$

Для рѣшенія этихъ уравненій примемъ слѣдующія обозначенія

$$\sum_{i=n}^{i=1} \left\{ (x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right\}^{1/2} = \sum_{i=n}^{i=1} l_i = s.$$

$$[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{1/2} = l_i = l$$

$$\sum_{i=n}^{i=1} \left\{ \frac{x_0 - a_i}{(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2} \right\}^{1/2} = \sum_{i=n}^{i=1} \cos(l_i, x) = t$$

$$\sum_{i=n}^{i=1} \frac{y_0 - b_i}{\left\{ (x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2 \right\}^{1/2}} = \sum_{i=n}^{i=1} \sin(l_i, x) = u$$

Тогда уравненія примутъ видъ:

$$\frac{3s^{2/5}(a_i - x_0)}{(H_i - H_0)^{4/5}l^{4/5}} - \frac{l^{6/5}t}{(H_i - H_0)^{4/5}s^{3/5}} = 4 \sum_{i=n}^{i=1} \left[(x_0 - a_i) \frac{1}{l_i^{2/5}(H_0 - H_i)^{4/5}} \right]$$

$$\frac{3s^{2/5}(b_i - y_0)}{(H_i - H_0)^{4/5}l^{4/5}} - \frac{l^{6/5}u}{(H_i - H_0)^{4/5}s^{3/5}} = 4 \sum_{i=n}^{i=1} \left[(y_0 - b_i) \frac{1}{l_i^{2/5}(H_0 - H_i)^{4/5}} \right]$$

$$\frac{l^{6/5}s^{2/5}}{(H_i - H_0)^{6/5}} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{l_i^{8/5}}{(H_0 - H_i)^{8/5}}$$

Первое изъ этихъ уравненій можно представить въ слѣдующемъ видѣ

$$3(a_i - x_0) - \frac{l^2 t}{s} = 4 \sum_{i=n}^{i=1} (x_0 - a_i) \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \left(\frac{l}{l_i} \right)^{2/5} \left(\frac{l}{s} \right)^{2/5} = 4 \sum_{i=n}^{i=1} (x_0 - a_i) m_i,$$

$$\text{если } m_i = \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \left(\frac{l^2}{l_i s} \right)^{2/5}$$

Рѣшая это уравненіе, получимъ

$$x_0 = \frac{3a_i + 4 \sum_{i=n}^{i=1} a_i m_i - \frac{l^2 t}{s}}{3 + 4 \sum_{i=n}^{i=1} m_i} \quad (50)$$

Аналогично

$$y_0 = \frac{3b_i + 4 \sum_{i=n}^{i=1} b_i m_i - \frac{l^2 u}{s}}{3 + 4 \sum_{i=n}^{i=1} m_i} \quad (51)$$

Наконецъ изъ третьяго уравненія имѣемъ:

$$\frac{1}{H_i - H_0} = \sum_{i=n}^{i=1} \frac{1}{H_0 - H_i} \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \left(\frac{l_i}{l} \right)^{6/5} \left(\frac{l_i}{s} \right)^{2/5}.$$

Если H_k одно изъ значеній H_i , то

$$\frac{1}{H_i - H_0} = \frac{1}{H_0 - H_k} \sum_{i=n}^{i=1} \frac{H_0 - H_k}{H_0 - H_i} \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \left(\frac{l_i}{l} \right)^{6/5} \left(\frac{l_i}{s} \right)^{2/5}$$

или означая

$$\frac{H_0 - H_k}{H_0 - H_i} \left(\frac{H_i - H_0}{H_0 - H_i} \right)^{1/5} \left(\frac{l_i}{l} \right)^{6/5} \left(\frac{l_i}{s} \right)^{2/5} = p_i$$

получимъ

$$\frac{1}{H_i - H_0} = \frac{\sum_{i=n}^{i=1} p_i}{H_0 - H_k}.$$

Откуда

$$H_k + H_i \frac{\sum_{i=n}^{i=1} p_i}{1 + \sum_{i=n}^{i=1} p_i} = H_0 \quad (52)$$

Эта задача не имѣетъ практическаго значенія по своимъ основнымъ условіямъ и разсмотрѣна нами только для освѣщенія вопроса съ теоретической стороны. Дальнѣйшій ходъ во предыдущему.

Глава IV.

Приступая къ приложенію общихъ задачъ, изложенныхъ въ III главѣ, мы прежде всего раземотримъ случай, при которомъ требуется найти наибъ выгоднѣйшую высоту и мѣсто расположенія водоемнаго здавія.

1) Имѣется n точекъ разбора воды и F центр источника водоснабженія; заданы пьезометрическія координаты n точекъ разбора воды $(a_1, b_1, H_1, a_2, b_2, H_2, \dots, a_n, b_n, H_n)$, расходъ воды въ этихъ точкахъ $q_1, q_2, \dots, q_n$ и пьезометрическія координаты точки $F (a_f, b_f, H_f)$ и расходъ въ трубѣ l_f, Q_f . Требуется найти наибъ выгоднѣйшее мѣсто расположенія и высоту водонапорной башни т. е. x_0, y_0 и H_0 .

Для рѣшенія этой задачи необходимо къ уравненію стоимости системы (21) прибавить стоимость водонапорной башни C_2 , которая въ общемъ видѣ можетъ быть выражена двучленомъ.

$C_2 = \rho + \nu H_0$; ρ —стоимость въ рубляхъ фундамента, крыши бака и т. п. частей, совершенно или почти независащихъ отъ H_0 ; ν —коэффициентъ стоимости, приходящійся на 1 пог. метръ высоты башни: стѣнъ, половъ, потолковъ, лѣстницъ и др. частей, представляющихъ собой функцію отъ H_0 , опредѣляется по формулѣ проф. Максименко ¹ $\nu = \frac{3600 \Delta \mu s a Q}{R}$,

гдѣ μ —стоимость 1 куб. метра кирпичной кладки на известковомъ или цементномъ растворѣ, a —коэффициентъ, показывающій какую часть суточного расхода представляетъ собой объемъ бака и R —коэф. прочнаго сопротивленія кладки на раздробленіе.

При μ (для изв. раст.) = 7 р. 00; $a=0,05-0,25$; $s=20$; $R=7 \frac{\text{кггр.}}{\text{см.}^2}$,

и при μ (для цем. раств.) = 11 р. 00 и $R=10 \frac{\text{кггр.}}{\text{см.}^2}$ $\nu=7200 \text{ } 1Q \text{ руб.} - 7920 aQ$, гдѣ Q секунднй расходъ для всего города.

¹ Максименко. Курсъ гидравлики.

При дифференцировании общего уравнения стоимости первые два уравнения (22)—(23) останутся без изменения, а третье превратится въ

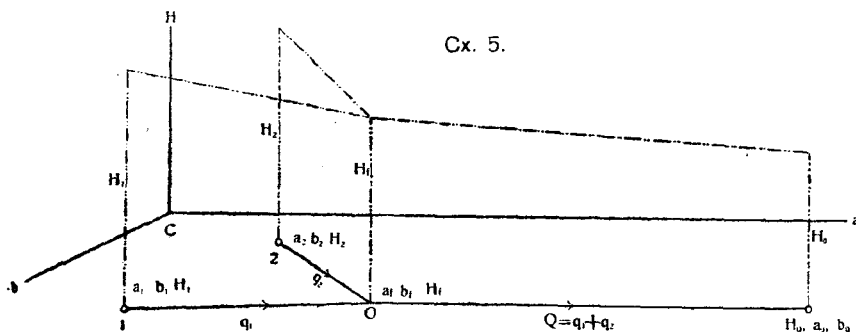
$$\frac{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{3/5}}{(H_i - H_0)^{6/5}} + \frac{5v}{k(1,10\lambda)^{1/5}} = \sum_{i=1}^n \frac{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{3/5}}{(H_0 - H_i)^{6/5}}$$

Рѣшеніе этихъ уравненій легко можетъ быть сдѣлано по изложенному въ главѣ III приему. Эти же задача приложима и для трубной сети на поляхъ орошенія для нахожденія наивыгоднѣйшаго положенія стояка (водонапорной колонны).

2) Имѣются два источника водоснабженія, расположенные на различныхъ высотахъ отъ уровня моря и находящіеся на различныхъ разстояніяхъ отъ снабжаемаго водой города. Сумма наименьшихъ расходовъ воды, даваемыхъ обоими источниками водоснабженія, превышаетъ наибольшій расходъ города. Для проведенія воды изъ этихъ источниковъ въ городъ, ведутъ изъ каждаго изъ нихъ трубу и соединяють обѣ вѣтви въ нѣкоторой точкѣ, откуда уже общей трубой проводятъ воду въ городъ.

Такимъ образомъ задача состоитъ въ томъ, что при данныхъ пьезометрическихъ координатахъ центровъ источниковъ водоснабженія (a_1, b_1, H_1 и a_2, b_2, H_2) и пункта вступленія въ городъ начального напора (a_0, b_0, H_0) требуется найти пьезометрическія координаты точки соединенія двухъ водопроводныхъ вѣтвей O , т. е. x_1, y_1, H_1 и наивыгоднѣйшіе диаметры подводящихъ трубъ.

При этомъ схема питанія будетъ такова (см. сх. 5).



По условіямъ задачи $H_{1\min} > H_1 > H_0$.

По общему методу мы можемъ написать три основныхъ уравненія.

$$\frac{(x_1 - a_0)(q_1 + q_2)^{2/5}}{[(x_1 - a_0)^2 + (y_1 - b_0)^2]^{3/5}(H_1 - H_0)^{1/5}} = \frac{(a_1 - x_1)q_1^{2/5}}{[(a_1 - x_1)^2 + (b_1 - y_1)^2]^{3/5}(H_1 - H_1)^{1/5}} + \frac{(a_2 - x_1)q_2^{2/5}}{[(a_2 - x_1)^2 + (b_2 - y_1)^2]^{3/5}(H_2 - H_1)^{1/5}} \quad (53)$$

$$\frac{(y_f - b_0)(q_1 + q_2)^{2/5}}{[(x_f - a_0)^2 + (y_f - b_0)_2]^{2/5} [H_f - H_0]^{1/5}} = \frac{(b_1 - y_1) q_1^{2/5}}{[(a_1 - x_1)^2 + (b_1 - y_1)^2]^{2/5} [H_1 - H_f]^{1/5}} +$$

$$+ \frac{(b_2 - y_2) q_2^{2/5}}{[(a_2 - x_2)^2 + (b_2 - y_2)^2]^{2/5} (H_2 - H_f)^{1/5}} \quad (54)$$

$$\frac{[(x_f - a_0)^2 + (y_f - b_0)^2]^{3/5} (q_1 + q_2)^{2/5}}{(H_f - H_0)^{6/5}} = \frac{[(a_1 - x_1)^2 + (b_1 - y_1)^2]^{3/5} q_1^{2/5}}{(H_1 - H_f)^{6/5}} +$$

$$+ \frac{[(a_2 - x_2)^2 + (b_2 - y_2)^2]^{3/5} q_2^{2/5}}{(H_2 - H_f)^{6/5}} \quad (55)$$

Подобнымъ же образомъ были бы написаны уравненія, если бы число источниковъ водоснабженія было 3 и болѣе.

Послѣ нахожденія величинъ x_f , y_f и H_f опредѣленіе діаметровъ производится по извѣстнымъ формуламъ гидравлики:

$$d_1 = \sqrt[5]{\frac{1,10 \lambda q_1^2 l_1}{H_1 - H_f}}; \quad d_2 = \sqrt[5]{\frac{1,10 \lambda q_2^2 l_2}{H_2 - H_f}} \quad \text{и}$$

$$d_f = \sqrt[5]{\frac{1,10 \lambda (q_1 + q_2)^2 l_f}{H_f - H_0}}$$

3) Изъ одного источника водоснабженія, лежащаго выше города требуется снабдить два пункта водой. (напр. два близко лежащихъ другъ отъ друга города, городъ и желѣзнодорожную станцію) ¹.

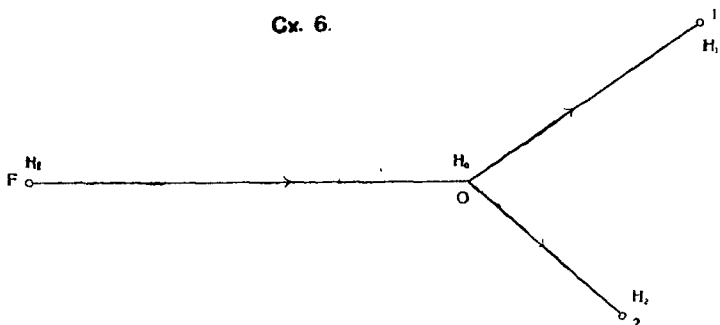
Для этой цѣли требуется отъ общей самотечной линіи въ извѣстной точкѣ направить двѣ отдѣльныя линіи къ обоимъ пунктамъ снабженія водой. Такимъ образомъ задача будетъ заключаться въ слѣдующемъ:

При данныхъ пьезометрическихъ координатахъ точекъ вступленія въ городъ начального напора 1 и 2 (a_1 , b_1 , H_1 и a_2 , b_2 , H_2) и центра источника водоснабженія F (a_f , b_f , H_f) требуется найти пьезометрическія координаты точки развѣтвленія O (x_0 , y_0 , H_0), при чемъ $H_f > H_0 > H_{\max}$.

В. Ф. Ивановъ. Водоснабженіе поселковъ и городовъ, лежащихъ близъ станцій желѣзныхъ дорогъ. Докладъ VII Водопроводному Съѣзду въ 1905 году (г. Москва); см. Труды VII съѣзда.

Схема питания (сх. 6) будетъ такова:

Сх. 6.



Для рѣшенія этой задачи требуется рѣшеніе 3-хъ извѣстныхъ уравненій.

$$\frac{(a_1 - x_0)(q_1 + q_2)^{2/5}}{[(a_1 - x_0)^2 + (b_1 - y_0)^2]^{2/5} (H_1 - H_0)^{1/5}} = \frac{(x_0 - a_1) q_1^{2/5}}{[(x_0 - a_1)^2 + (y_0 - b_1)^2]^{2/5} (H_0 - H_1)^{1/5}} +$$

$$+ \frac{(x_0 - a_2) q_2^{2/5}}{[(x_0 - a_0)^2 + (y_0 - b_2)^2]^{2/5} (H_0 - H_2)^{1/5}}$$

$$\frac{(b_1 - y_0)(q_1 + q_2)^{2/5}}{[(a_1 - x_0)^2 + (b_1 - y_0)^2]^{2/5} (H_1 - H_0)^{1/5}} = \frac{(x_0 - b_1) q_1^{2/5}}{[(x_0 - a_1)^2 + (y_0 - b_1)^2]^{2/5} (H_0 - H_1)^{1/5}} +$$

$$+ \frac{(y_0 - b_2) q_2^{2/5}}{[(x_0 - a_2)^2 + (y_0 - b_2)^2]^{2/5} (H_0 - H_2)^{1/5}}$$

$$\frac{[(a_1 - x_0)^2 + (b_1 - y_0)^2]^{3/5} (q_1 + q_2)^{2/5}}{(H_1 - H_0)^{6/5}} = \frac{[(x_0 - a_1)^2 + (y_0 - b_1)^2]^{3/5} q_1^{2/5}}{(H_0 - H_1)^{6/5}} +$$

$$+ \frac{[(x_0 - a_2)^2 + (y_0 - b_2)^2]^{3/5} q_2^{2/5}}{(H_0 - H_2)^{6/5}}$$

4) Та же задача, но только источникъ водоснабженія лежитъ ниже города и напоръ, подъ которымъ подается вода въ снабжаемые водой пункты, H_1 — перемененъ. Остальные обозначенія и схема питания тѣ-же.

Въ этомъ случаѣ къ 3-мъ только что написаннымъ уравненіямъ слѣдуетъ присоединить для совмѣстнаго рѣшенія четвертое (56).

$$\frac{\{(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2\}^{1/2}}{(H_f - H_0)^2} = B^3 Q^{1/2},$$

гдѣ

$$B = \left[\frac{5 A}{k (1,10 \lambda)^{1/5}} \right]^{1/6}$$

Но такъ какъ желательно съ эксплуатаціонной точки зрѣнія, чтобы работа машинъ была бы равномерна, то слѣдуетъ положить $H_1 = H_2$, и наши три уравненія превратятся въ слѣдующія, а четвертое останется безъ измѣненія.

$$\frac{(a_f - x_0)(q_1 + q_2)^{2/5}}{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{2/5} (H_f - H_0)^{1/5}} = \frac{1}{(H_0 - H_1)^{1/5}} \left\{ \frac{(x_0 - a_1) q_1^{2/5}}{[(x_0 - a_1)^2 + (y_0 - b_1)^2]^{2/5}} + \right. \\ \left. + \frac{(x_0 - a_2) q_2^{2/5}}{[(x_0 - a_2)^2 + (y_0 - b_2)^2]^{2/5}} \right\} \quad (57)$$

$$\frac{(b_f - y_0)(q_1 + q_2)^{2/5}}{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{2/5} (H_f - H_0)^{1/5}} = \frac{1}{(H_0 - H_1)^{1/5}} \left\{ \frac{(y_0 - b_1) q_1^{2/5}}{[(x_0 - a_1)^2 + (y_0 - b_1)^2]^{2/5}} + \right. \\ \left. + \frac{(y_0 - b_2) q_2^{2/5}}{[(x_0 - a_2)^2 + (y_0 - b_2)^2]^{2/5}} \right\} \quad (58)$$

$$\frac{[(a_f - x_0)^2 + (b_f - y_0)^2]^{3/5} (q_1 + q_2)^{2/5}}{(H_f - H_0)^{6/5}} = \frac{1}{(H_0 - H_1)^{6/5}} \left\{ [(x_0 - a_1)^2 + (y_0 - b_1)^2]^{3/5} q_1^{2/5} + \right. \\ \left. + [(x_0 - a_2)^2 + (y_0 - b_2)^2]^{3/5} q_2^{2/5} \right\} \quad (59)$$

Въ этомъ случаѣ нѣсколько упростятся выраженія для коэффициентовъ m_i и p_i , которые примутъ слѣдующій видъ:

$$m_1 = \frac{q_1^{2/5}}{B Q^{1/2}} \left(\frac{l_f}{l_1} \right) \left(\frac{l_1}{H_0 - H_1} \right)^{1/5}$$

$$m_2 = \frac{q_2^{2/5}}{B Q^{1/2}} \left(\frac{l_f}{l_2} \right) \left(\frac{l_2}{H_0 - H_1} \right)^{1/5}$$

$$p_1 = \frac{l_1^{6/5} q_1^{2/5}}{B^6 Q}$$

$$p_2 = \frac{l_2^{6/5} q_2^{2/5}}{B^6 Q}.$$

5) Въ известной мѣстности пробивается рядъ восходящихъ ключей незначительной мощности; *требуется найти наивыгоднѣйшее положеніе для водосборного центрального колодца.*

Каптажъ ключей производится посредствомъ трубъ соответственнаго діаметра, работающихъ подъ напорами $H_i - H_0$. Для рѣшенія этой задачи выборъ напора въ колодцѣ не можетъ быть сдѣланъ съ наивыгоднѣйшей точки зрѣнія, такъ какъ въ этомъ случаѣ всѣ $H_i > H_0$ и чѣмъ меньше H_0 , тѣмъ будутъ меньше d_i . Однимъ словомъ функція C (см. выр. 21) по отношенію къ H_0 не будетъ имѣть минимума. Величину H_0 выбираютъ такъ, чтобы не было бы нарушено равновѣсіе ключевого бассейна. Вся задача сведется къ нахожденію минимума функціи C лишь относительно x_0 и y_0 или совмѣстному рѣшенію уравненій (22) и (23) для n ключей, гдѣ H_0 должно быть заранѣе известно.

$$\frac{(a_i - x_0) Q^{2/5}}{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{2/5} (H_i - H_0)^{1/5}} = \sum_{i=1}^{i-1} \frac{(x_0 - a_i) q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{2/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} \quad (60)$$

$$\frac{(b_i - y_0) Q^{2/5}}{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2]^{2/5} (H_i - H_0)^{1/5}} = \sum_{i=1}^{i-1} \frac{(y_0 - b_i) q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (y_0 - b_i)^2]^{2/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} \quad (61)$$

Такимъ образомъ эта задача представляетъ собой частный случай общей основной задачи, когда дано опредѣленное значеніе для H_0 .

Эти уравненія могутъ быть написаны по предыдущему еще въ видѣ:

$$d_i \cos(l_i, OX) = d_1 \cos(l_1, OX) + d_2 \cos(l_2, OX) + \dots + d_n \cos(l_n, OX).$$

$$d_i \sin(l_i, OX) = d_1 \sin(l_1, OX) + d_2 \sin(l_2, OX) + \dots + d_n \sin(l_n, OX).$$

Эти выраженія даютъ намъ возможность заключить, что 1) для нахожденія наивыгоднѣйшаго съ экономической точки зрѣнія центра распредѣленія O необходимо, чтобы діаметры напорной и разводящихъ линий, принятые за силы, составили бы замкнутый многоугольникъ силъ и что 2) при наивыгод-

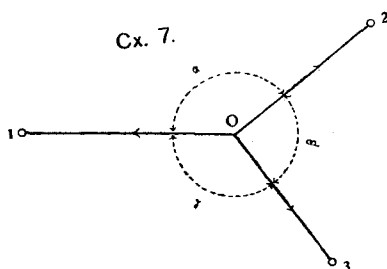
нѣйшемъ начертаніи диаметръ напорной линіи является равнодѣйствующей, а диаметры разводящихся линій—составляющими (см. стр. 36).

Эти заключенія, данныя въ нѣсколько иномъ видѣ Willaer'омъ и Forcheimer'омъ, позволяютъ намъ дѣлать подборъ диаметровъ для разомкнутой трубной сѣти; разумѣется вслѣдствіе изготовленія трубъ строго определенныхъ нормальнымъ сортаментомъ калибровъ, наши многоугольники силъ не будутъ замыкаться; величина невязки намъ укажетъ до нѣкоторой степени приближеніе нашего рѣшенія къ идеальному.

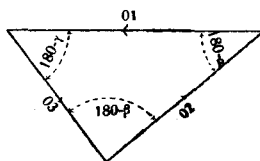
Выводы этой задачи даютъ намъ возможность воспользоваться ими для рѣшенія нѣкоторыхъ новыхъ задачъ, встрѣчающихся при трассированіи водопроводной и оросительной сѣти, къ разсмотрѣнію и разрѣшенію коихъ мы и перейдемъ.

6) Даны три точки: 1, 2 и 3, расходы и напоры въ нихъ.

Требуется найти наивыгоднѣйшія величины угловъ α , β и γ , подъ которыми слѣдуетъ провести магистраль при развѣтвленіи ея на два направленія.



Сх. 8.



Общія выраженія для нахождения точки O и напора въ ней мы не приводимъ, такъ какъ эта задача тождественна съ задачей 3-й.

Если же величина H_0 дана, то по предыдущему:

$$d_1 \cos(l_1, OX) = d_3 \cos(l_3, OX) + d_2 \cos(l_2, OX) \quad (62)$$

$$d_1 \sin(l_1, OX) = d_3 \sin(l_3, OX) + d_2 \sin(l_2, OX) \quad (63)$$

или диаметры d_1 , d_3 и d_2 , принятыя за силы должны образовывать замкнутый треугольникъ силъ.

Во всякомъ треугольникѣ стороны относятся какъ sinus'ы противолежащихъ угловъ т. е.

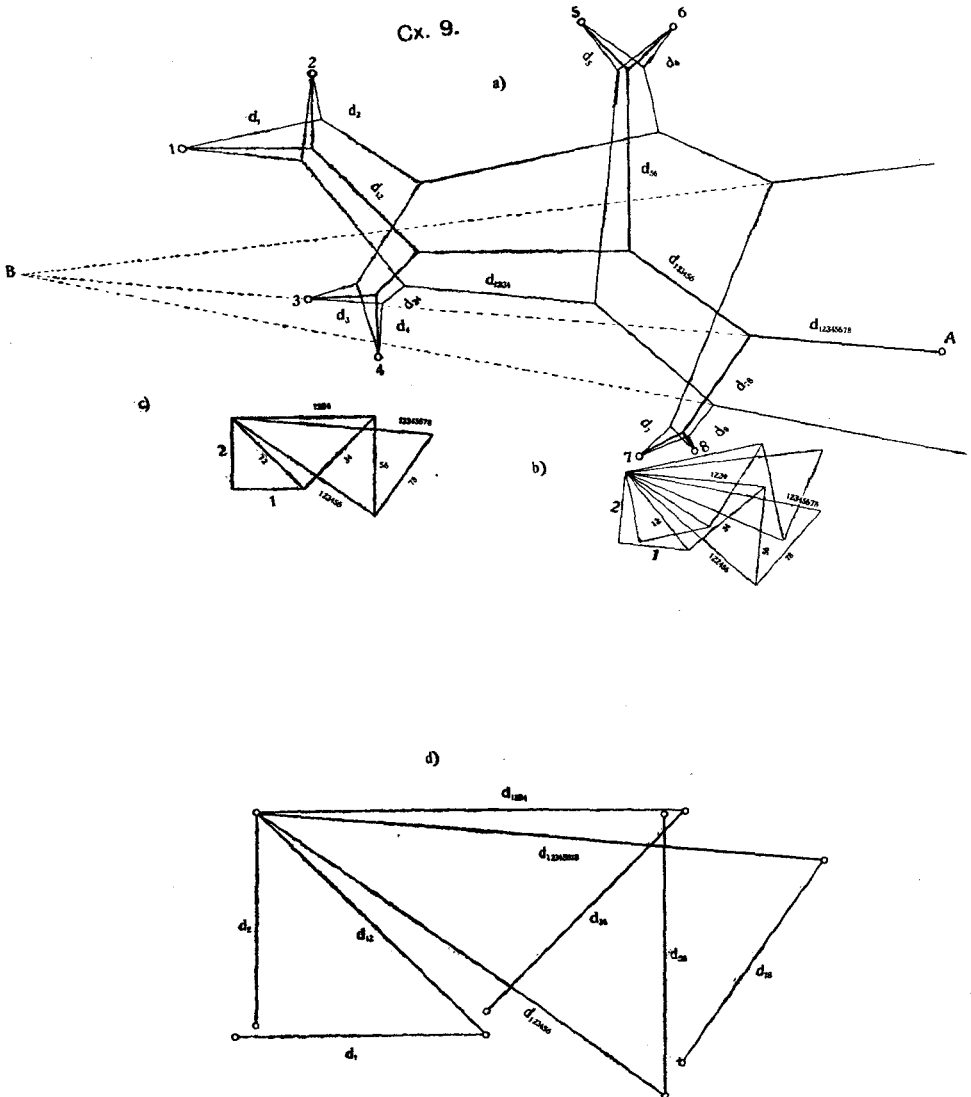
$$\frac{d_3}{\sin(180^\circ - \alpha)} = \frac{d_1}{\sin(180^\circ - \beta)} = \frac{d_2}{\sin \gamma} \quad \text{или} \quad \frac{d_3}{\sin \alpha} = \frac{d_1}{\sin \beta} = \frac{d_2}{\sin \gamma} \quad (64)$$

или диаметры 3 трубъ, сходящихся въ одной точкѣ, относятся какъ синусы угловъ, образуемыхъ двумя другими водопроводными линіями между собой.

Это правило дало возможность проф. Форгеймеру предложить весьма остроумный графо-статический приём для начертания сѣти на поляхъ орошения, которымъ мы здѣсь воспользуемся, но нѣсколько въ иномъ видѣ.

Этотъ приёмъ построенъ на только что изложенной задачѣ.

Пусть у насъ имѣется n точекъ разбора воды (т. е. пунктовъ, гдѣ у насъ вставляемы запорные щиты или задвижки для выпуска воды на отдѣльные бассейны полей орошения) и A —точка вступаяния начальнаго напора.



$d_1, d_2, \dots, d_n$ — диаметры отѣтвленій, непосредственно ведущихъ къ n точкамъ разбора воды; d_{12} — диаметръ вѣтви, соединяющей вѣтви съ діам. d_1

и діам. d_2 , d_{123} —діаметръ вѣтви, соединяющей вѣтви діаметромъ d_{12} и d_3 и т. д. Если мы предположимъ по предыдущему, что d_1 , $d_2 \dots d_n$ силы, приложенныя къ водопроводнымъ вѣтвямъ, то d_{12} можно разсматривать какъ равнодѣйствующую силъ d_1 и d_2 , d_{123} —равнодѣйствующую силъ d_1 , d_2 и d_3 и т. д. (сх. 9, а).

Для построенія наивыгоднѣйшаго начертанія оросительной сѣти сдѣлаемъ дальнѣйшія предположенія. Примемъ разомкнутую оросительную сѣть за веревочный многоугольникъ. Изъ статики намъ извѣстно, что можно построить веревочный многоугольникъ, если нами построены многоугольникъ силъ; для построенія послѣдняго необходимо знать величины силъ, дѣйствующихъ въ разсматриваемой системѣ, и направленія, по которымъ они дѣйствуютъ.

Принимая для приближеннаго построенія скорость одинаковую во всѣхъ трубахъ, строимъ пробный многоугольникъ силъ, равныхъ соответственно $\sqrt{q_i}$. (сх. 9, б).

По пробному многоугольнику строимъ пробный веревочный многоугольникъ, начиная съ точки 1, послѣдняя сторона котораго не пройдетъ чрезъ точку А, а ниже ея. Далѣе поворачиваемъ многоугольникъ силъ на произвольный уголъ α ; тогда на этотъ же уголъ поворачиваются всѣ стороны соотвѣстственнаго веревочнаго многоугольника. Уголъ α —выбирается такимъ образомъ, чтобы послѣдняя сторона новаго веревочнаго многоугольника прошла бы выше А. Послѣднія стороны двухъ веревочныхъ многоугольниковъ пересекутся въ точкѣ В. Соединяя точку В съ А, получимъ направленіе для линіи $d_{12345678}$. Затѣмъ строимъ новый многоугольникъ силъ (сх. 9, с) такъ, чтобы линія 12345678 была бы параллельна направленію линіи $d_{12345678}$. По многоугольнику силъ строимъ искомый веревочный многоугольникъ. Положеніе веревочнаго многоугольника даетъ намъ возможность опредѣлить величины діаметровъ оросительныхъ трубъ. Зная величины діаметровъ, мы строимъ истинный многоугольникъ силъ (сх. 9, д); полученныя невязки въ отдѣльныхъ треугольникахъ покажутъ намъ степень приближенія положенія веревочнаго многоугольника къ истинному; величины невязокъ будутъ незначительны и ограниченіе размѣровъ трубъ сортаментомъ даетъ намъ полную возможность остановиться на этомъ рѣшеніи.

Разсмогримъ нѣсколько частныхъ случаевъ, вытекающихъ изъ задачи 6-ой.

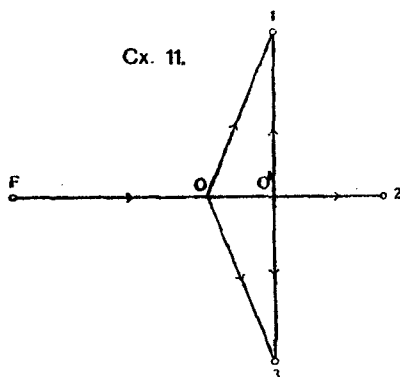
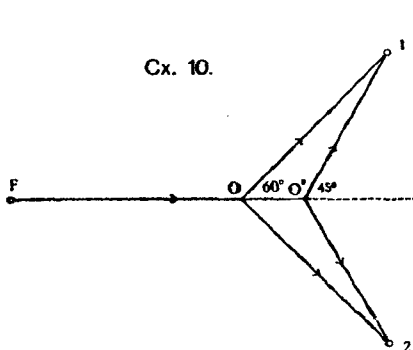
а) *самотечная линія совпадаетъ съ осью координатъ; величина H_0 задана; требуется найти центръ распределенія для двухъ точекъ разбора воды.*

Центръ раепредѣленія опредѣлится изъ уравненій (62—63)

$$\left. \begin{aligned} d &= d_1 \cos \alpha_1 + d_2 \cos \alpha_2 \\ 0 &= d_1 \sin \alpha_1 + d_2 \sin \alpha_2 \end{aligned} \right\} \quad (65)$$

б) если ответвления деляются симметрично и скорости во всех трубах одинаковы, т. е. $v_1=v_1=v_2$, то

$$\frac{q_1+q_2}{d_f^2} = \frac{q_1}{d_1^2} = \frac{q_2}{d_2^2}$$



при $q_1=q_2$ и $d_1=d_2$ эти выражения примутъ слѣдующій видъ

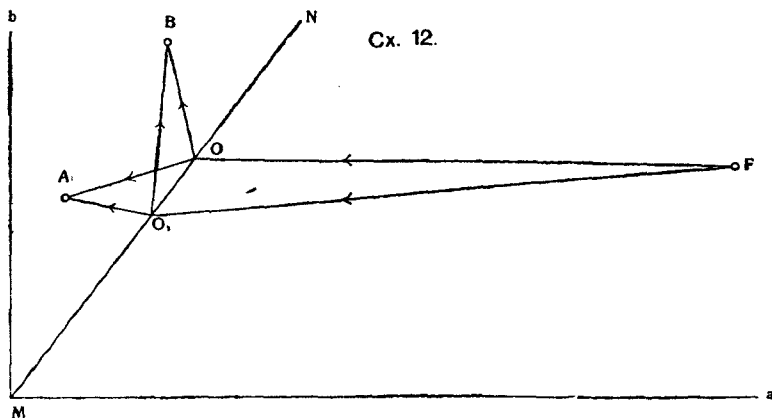
$$d_f = d_1 \sqrt{2}; \quad \cos \alpha = \frac{d_f}{2d_1}; \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$$

$$\text{при } d_1=d_2=d_f; \quad \cos \alpha_1 = 1/2; \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 60^\circ.$$

Слѣдовательно при начертаніи двухъ разветвленій магистралъ слѣдуетъ придавать угламъ, составляемымъ вѣтвями съ магистралью, значенія между 45° и 60° . (Сх. 10).

Разсуждая аналогично, мы для трехъ разветвленій получимъ для наивыгоднѣйшихъ угловъ значенія между $68^\circ 30'$ и 90° . (Сх. 11).

7) Дано положеніе двухъ точекъ разбора воды и центра источника водоснабженія, центръ распределенія лежитъ на заданной прямой, проходящей чрезъ начало координатъ. Требуется найти наивыгоднѣйшія тѣзометрическія координаты точки O.



Изъ условій поставленной нами задачи вытекаетъ, что y_0 представляетъ собой функцію x_0 ; $y_0 = s x_0$; слѣдовательно наша функція C (21) въ свою очередь будетъ функціей только двухъ переменныхъ — $C = f(x_0, H_0)$.

Подставляя вмѣсто y его выраженіе въ (21), получаемъ:

$$C = k(1, 10\lambda)^{1/3} \left\{ \frac{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - s x_0)^2]^{3/5} Q^{2/5}}{(H_i - H_0)^{1/5}} + \sum_{i=2}^{i=1} \frac{[(x_0 - a_i)^2 + (s x_0 - b_i)^2]^{3/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{1/5}} \right\}$$

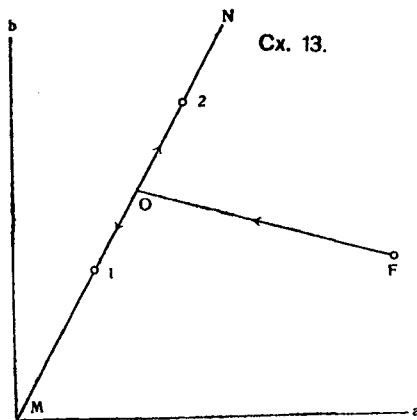
дифференцированіе по x_0 и H_0 даетъ намъ систему двухъ уравненій

$$\frac{[(o_i + b_i s) - x_0(1 + s^2)] Q^{2/5}}{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - s x_0)^2]^{3/5} [H_i - H_0]^{1/5}} = \sum_{i=2}^{i=1} \frac{[x_0(1 + s^2) - (a_i + b_i s)] q_i^{2/5}}{[(x_0 - a_i)^2 + (s x_0 - b_i)^2]^{3/5} (H_0 - H_i)^{1/5}} \quad (66)$$

$$\frac{[(a_i - x_0)^2 + (b_i - s x_0)^2]^{3/5} Q^{2/5}}{(H_i - H_0)^{1/5}} = \sum_{i=2}^{i=1} \frac{[(x_0 - a_i)^2 + (s x_0 - b_i)^2]^{3/5} q_i^{2/5}}{(H_0 - H_i)^{1/5}} \quad (67)$$

Рѣшеніе этихъ уравненій получается обычнымъ путемъ.

Частный случай этой задачи представитъ собой случай, когда прямая MN совпадаетъ съ AB , т. е. прямая, на которой лежитъ центръ распределенія, проходитъ чрезъ точки разбора воды.



Сх. 13.

Въ этомъ случаѣ $a_i = 0$, $b_i = 0$, $y_0 = \frac{b_2}{a_2} x_0$; $s = \frac{b_2}{a_2} = \operatorname{tg} \alpha$; $\angle(l_1, Ox) = \angle(l_2, Ox) = \alpha$; $l_1 + l_2 = l$; $b_2 = l \sin \alpha$.

Уравненія (66) — (67) превратятся въ

$$\frac{[(a_1 + b_1 s) - x_0(1 + s^2)] Q^{2/5}}{[x_0^2(1 + s^2) - 2x_0(a_1 + b_1 s) + (a_1^2 + b_1^2)]^{2/5} (H_1 - H_0)^{1/5}} =$$

$$= x_0^{1/5} \frac{(1 + s^2)^{3/5} q_1^{2/5}}{(H_0 - H_1)^{1/5}} + \frac{[x_0(1 + s^2) - (a_2 + b_2 s)] q_2^{2/5}}{[x_0^2(1 + s^2) - 2x_0(a_2 + b_2 s) + (a_2^2 + b_2^2)]^{2/5} (H_0 - H_2)^{1/5}}.$$

$$\frac{[x_0^2(1 + s^2) - 2x_0(a_1 + b_1 s) + a_1^2 + b_1^2]^{3/5} Q^{2/5}}{(H_1 - H_0)^{6/5}} = x_0^{6/5} \frac{(1 + s^2)^{3/5} q_1^{2/5}}{(H_0 - H_1)^{6/5}} +$$

$$+ \frac{[x_0(1 + s^2) - 2x_0(a_2 + b_2 s) + a_2^2 + b_2^2]^{3/5} q_2^{2/5}}{(H_0 - H_2)^{6/5}},$$

$$1 + s^2 = 1 + tg^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \mu_1;$$

$a_1 + b_1 s = \mu_2$; $a_1^2 + b_1^2 = \mu_3$ (этотъ коэффициентъ выражаетъ собой длину
линіи, соединяющей начало координатъ съ источникомъ водоснабженія);
 $a_2 + b_2 s = b_2(ctg \alpha + tg \alpha) = \frac{2b_2}{\sin 2\alpha} = \mu_4$; $a_2^2 + b_2^2 = l^2 = \mu_5$.

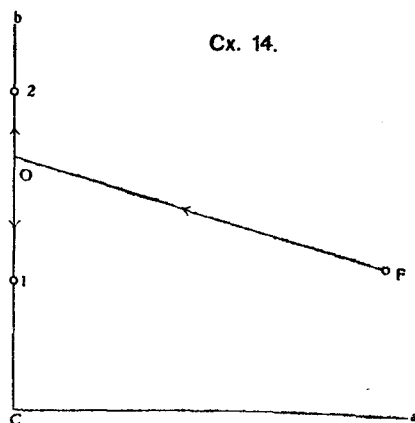
$$\frac{(\mu_2 - \mu_1 x_0) Q^{2/5}}{(x_0^2 \mu_1 - 2x_0 \mu_2 + \mu_3)^{2/5} (H_1 - H_0)^{1/5}} = \frac{x_0^{1/5} \mu_1^{3/5} q_1^{2/5}}{(H_0 - H_1)^{1/5}} +$$

$$+ \frac{(x_0 \mu_1 - \mu_4) q_2^{2/5}}{(x_0^2 \mu_1 - 2x_0 \mu_4 + \mu_5)^{2/5} (H_0 - H_2)^{1/5}} \quad (68)$$

$$\frac{(\mu_1 x_0^2 - 2\mu_2 x_0 + \mu_3)^{3/5} Q^{2/5}}{(H_1 - H_0)^{6/5}} = \frac{x_0^{6/5} \mu_1^{3/5} q_1^{2/5}}{(H_0 - H_1)^{6/5}} + \frac{(\mu_1 x_0^2 - 2\mu_4 x_0 + \mu_5)^{3/5} q_2^{2/5}}{(H_0 - H_2)^{6/5}} \quad (69)$$

Рѣшеніе этихъ уравненій дается также при помощи общаго приѣма.

Если линія, соединяющая точки разбора воды, совпадаетъ съ осью Y —овъ, то $a_1=0$, $x_0=0$.



Уравненія (66)—(67) превратятся въ

$$\frac{(b_f - y_0) Q^{2/5}}{[(b_f - y_0)^2 + a^2]^{2/5} (H_f - H_0)^{1/5}} = \frac{y_0^{1/5} q_1^{2/5}}{(H_0 - H_1)^{1/5}} + \frac{(y_0 - b_2)^{1/5} q_2^{2/5}}{(H_0 - H_2)^{1/5}}.$$

$$\frac{[(b_f - y_0)^2 + a^2]^{3/5} Q^{2/5}}{(H_f - H_0)^{6/5}} = \frac{y_0^{6/5} q_1^{2/5}}{(H_0 - H_1)^{6/5}} + \frac{(y_0 - b_2)^{6/5} q_2^{2/5}}{(H_0 - H_2)^{6/5}} \quad \text{или}$$

$$d_f \sin(l_f, OX) = d_f \sin \beta = d_1 + d_2$$

$$\frac{d_f l_f}{H_f - H_0} = \frac{d_1 l_1}{H_0 - H_1} + \frac{d_2 l_2}{H_0 - H_2}$$

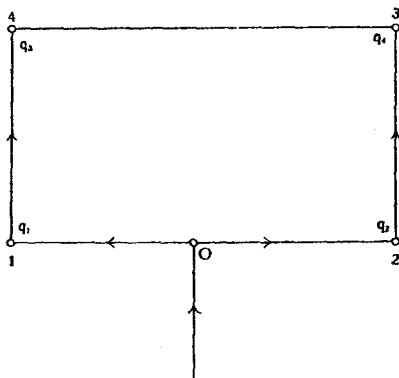
при $H_1 = H_2 = H$

$$\frac{d_f l_f}{H_f - H_0} = \frac{d_1 l_1 + d_2 l_2}{H_0 - H}.$$

Подобнымъ же образомъ можно вывести уравненія и въ случаѣ и точекъ разбора воды, лежащихъ на прямой, проходящей чрезъ начало координатъ.

Попробуемъ примѣнить вышеизложенное также для сомкнутого контура водопроводной сѣти.

Сх. 15.



Такъ какъ обыкновенно при расчетѣ городской сѣти встрѣчается случай, когда $q_1 > q_4$ и $q_2 > q_3$ (см. сх. 15), то эта задача сводится къ повторенію предыдущей задачи 7-ой.

Глава V.

Въ предыдущей главѣ мы установили рядъ правилъ, пригодныхъ для начертанія водопроводной разомкнутой сѣти.

Что же касается трассированія сомкнутой сѣти, то эта задача не можетъ быть точно разрѣшена при современномъ положеніи вопроса.

Въ настоящее время при проектированіи городской водопроводной сомкнутой сѣти прежде всего стараются соблюсти слѣдующія положенія:

1) *магистралы проводятся такимъ образомъ, чтобы по возможности было бы использовано топографическое положеніе города, т. е. чтобы онъ проходилъ по возвышеннымъ частямъ города; это правило распространяется и на водопроводныя линіи 1-го, 2-го порядка и т. д.,*

2) *магистралы проводятся по возможности ближе къ пунктамъ концентрированнаго потребленія воды.*

3) *вода должна быть проведена кратчайшимъ путемъ для уменьшенія вредныхъ сопротивленій къ самымъ отдаленнымъ и самымъ высокимъ пунктамъ разбора воды.*

4) *въ каждомъ узлѣ сомкнутой сѣти алгебраическая сумма потерянныхъ напоровъ и алгебраическая сумма притекающихъ и истекающихъ расходовъ равна нулю.*

Но при примѣненіи этихъ правилъ у составителя проекта не всегда остается увѣренность въ томъ, что онъ дѣйствительно экономично трассировалъ свою сѣть, если, конечно, онъ не сдѣлалъ всевозможныхъ вариантовъ.

Для удовлетворенія этой цѣли нами предлагается слѣдующій приближенный подготовительный пріемъ, основанный на предыдущихъ выводахъ.

Задача, которую мы себѣ ставимъ, заключается въ такой подготовкѣ сомкнутой сѣти, при которой было бы можно безъ затрудненія дать наибольшее выгоднѣйшее начертаніе водопроводнымъ магнетралямъ, что можно выполнить, пользуясь предыдущими задачами.

Положимъ, что намъ требуется составить проектъ водопроводной сѣти для города средней величины (8—10 кв. в.); даны плотность населенія въ разныхъ частяхъ города, ежегодный приростъ населенія въ ‰-хъ, норма потребления воды на человѣка въ сутки, предѣльная высота зданій, положеніе и величина крупныхъ центровъ потребления воды (бани, бойни, заводы и пр.)—однимъ словомъ всѣ необходимыя данныя для составленія проекта.

Сначала мы опредѣляемъ величины площадей строительныхъ кварталовъ и исчисляемъ по нормѣ потребления и плотности населенія необходимыя для ихъ питанія расходы воды.

Затѣмъ рѣшаемъ вопросъ о числѣ главныхъ магистралей для города. При этомъ слѣдуетъ замѣтить, что съ экономической точки зрѣнія наиболѣе дешевой является сѣть съ одной магистралью, разрѣзающей городъ на двѣ части, во при проектированіи водопроводной сѣти въ этомъ случаѣ нельзя руководствоваться одними экономическими соображеніями, такъ какъ въ случаѣ разрыва единственной въ городѣ магистрали можетъ произойти значительная задержка въ водоснабженіи, что при совпаденіи съ пожаромъ можетъ повести къ денежнымъ убыткамъ. *Поэтому, чѣмъ больше площадь города и чѣмъ больше желаютъ обезпечить свою сѣть отъ случайностей тѣмъ сильнѣе развиваютъ сѣть главныхъ магистралей.* Такъ напр. Московская разводящая сѣть имѣетъ двѣ кольцевыхъ и двѣ діаметральныхъ магистрали. Чаще всего проводятъ одну кольцевую магистраль, выходящую изъ точки вступленія начального напора или уравнительнаго резервуара ¹.

Далѣе, зная расходъ въ каждомъ кварталѣ, мы предполагаемъ его сосредоточеннымъ въ центрѣ тяжести квартала и наносимъ на планъ города эти центры, надписывая у каждого изъ нихъ потребное количество воды; также ноступаемъ съ концентрированными источниками потребления воды, т. е. наносимъ центры и надписываемъ расходы.

Теперь намъ надлежитъ установить пьезометричеснія высоты для каждого изъ пунктовъ разбора. Для этой цѣли мы распредѣляемъ гидравлическіе уклоны по водопроводной сѣти (въ предѣлахъ отъ 0,001 до 0,01) и получаемъ пьезометричеснія высоты въ узлахъ, исходя изъ заданной высоты свободного напора; имѣя узловыя пьезометричеснія высоты, беремъ для центровъ потребления ереднія ариметическія изъ окружающихъ центры пьезометрическихъ высотъ.

Зная число магистралей (см. сх. 16), раздѣляемъ городъ такимъ образомъ, чтобы каждая магистраль примѣрно обслуживала одинаковое количество воды. Затѣмъ каждую часть дѣлимъ на нѣсколько раіоновъ сообразно плотности

¹ А. В. Кондрашовъ. Расчетъ трубъ Московскаго водопровода, 1905 г.

фическимъ приемомъ, а H_0 опредѣляемъ по выраженію $H_0 = \max H_i + l_i i_i$, такъ какъ въ данномъ случаѣ мы не имѣемъ для H_0 второго предѣла H_i . Послѣ выполненія этого приема мы получаемъ вмѣсто сѣти рядъ точекъ разбора воды; далѣе намъ для опредѣленія центра распредѣленія всего города не представитъ труда воспользоваться, смотря по мѣстнымъ условіямъ, или двумя основными задачами первой главы еѣ добавленіемъ условія о екольженіи этого центра по нижней трубной линіи (см. зад. 7 гл. IV). Въ случаѣ нахожденія наивыгоднѣйшаго мѣста водоемнаго зданія слѣдуетъ примѣнить задачу 1-ую главы IV-ой. Соединяя центры распредѣленія районовъ, мы получимъ теоретическое положеніе магистралей; примѣненіе задачъ 1 и 2-ой III главы и 1-ой IV главы даетъ намъ теоретическое положеніе самотечной линіи.

Всѣ эти теоретическія данныя легко исправить, проведя, конечно, главныя магистрали по улицамъ города по возможности ближе къ идеальнымъ линіямъ, какъ это и показано на схемѣ 16-ой. Также, имѣя теоретическое положеніе напорной или самотечной линіи, ее можно исправить, примѣняя для этого всѣ соображенія главы II-ой.

Послѣ начертанія магистралей, можно примѣнить такой же приемъ и къ вѣтвямъ 1-го порядка.

Предлагаемый нами приемъ, по нашему мнѣнію, облегчаетъ проектировку сомкнутой сѣти, хотя, конечно, для него приходится дѣлать нѣкоторыя допущенія, такъ какъ движеніе воды совершается по трубамъ сомкнутой сѣти, а не по пучку трубъ, исходящихъ изъ центровъ распредѣленія.

Но такъ какъ этотъ приемъ имѣетъ только подготовительный характеръ, вслѣдъ за которымъ слѣдуетъ обыкновенный примѣняющійся въ практикѣ расчетъ, то нѣтъ надобности стремиться къ большой точности; все равно застройка города не дастъ возможности точно использовать теоретическія линіи, опредѣляемыя этимъ методомъ.

Поэтому намъ кажется, что этотъ методъ можетъ облегчить работу проектирующаго особенно при трассированіи сѣти старыхъ русскихъ городовъ, отличающихся нерѣдко неправильностью въ начертаніи улицъ, сильно затрудняющей проектировку.

Подобный приемъ для нахожденія центровъ распредѣленія сѣти примѣняется, есколько намъ извѣстно, и въ другой области инженерныхъ знаній—электротехникѣ¹⁾, гдѣ также принимается, что питающіе провода направлены по прямымъ линіямъ къ снабжающей ихъ токомъ генератор-

¹⁾ IX Сборникъ Института Инж. Пут. Сообщ., инженеръ Н. Карауловъ, О наивыгоднѣйшемъ распредѣленіи генераторныхъ и вторичныхъ электрическихъ станцій и передающихъ проводовъ.

ной станціи. Но въ этой области инженернаго искусства наша задача, разрѣшаемая путемъ сложныхъ пріемовъ, рѣшается значительно проще благодаря болѣе простому закону для потери напряженія при прохожденіи тока по проводу, дающему возможность использовать пріемы теоретической механики.

Заканчивая на этомъ пріемъ свою работу, мы не можемъ не высказать пожеланія дальнѣйшаго освѣщенія весьма сложнаго вопроса о наилучшемъ начертаніи водопроводной сѣти и примѣненія начала наименьшей стоимости для рѣшенія различныхъ, встрѣчающихся на практикѣ инженерныхъ задачъ.

Инж. Вяч. Ивановаъ.

Кіевъ, 10 Декабря 1907 г.

Приложение № 1.

Таблица № 1.

Таблица стоимости 1 пог. единицы чугунной водопроводной трубы и исчисления эконоимического коэффициента k_r .

Диаметры трубъ.		Трубы.		Работы по укладкѣ трубъ.										за дѣлку стыка.				Общая стоимость укладки въ рублѣхъ.	Общая стоимость трубы съ земляными работами и укладкой въ руб.	Коэффици- ціентъ k_r .	Коэффи- ціентъ k_r на 1 п. м. при d_1 въ метр.	ПРИМѢЧАНІЯ.	
Въ дюймъ.	Въ миллиметрахъ.	Вѣсъ 1 пог. с. въ пудахъ.	Стоим- ность 1 пог. саж. въ руб.	Земляныя работы.		Материалы и работы по						Рабочая сила.		Общая стоимость укладки въ рублѣхъ.									
				Количество въ куб. с. на 1 п. с. рва (съ употреб. распор.).	Стоим. 1 п. с. рва въ руб.	Пряжи.		Свинцу.		Дровъ.		Подноска и укладка.			Задѣлка стыка.								
						Коли- чество въ фунт.	Стоим- ность въ руб.	Коли- чество въ пуд.	Стоим- ность въ руб.	Коли- чество въ пог. саж.	Стоим- ность въ руо.	Коли- чество въ руб.	Стоим. въ руб.			Коли- чество въ руб.	Стоим. въ руб.						
4	100	3.00	6.00	0,5	1.50	2.72	0.27	0.11	0.33	0.0027	0.02	0.075	0.06	0.24	0.48	2.66	8.66	2.16	40.5	При составленіи			
5	125	3.83	7.76	"	"	3.20	0.32	0.15	0.45	0.0040	0.02	0.097	0.08	0.24	0.48	2.85	10.61	2.14	40.1	настоящей таблицы			
6	150	4.90	9.80	"	"	3.66	0.37	0.19	0.57	0.0050	0.03	0.123	0.10	0.25	0.50	3.07	12.87	2.15	40.3	принятыхъ:			
7	175	5.93	11.86	"	"	4.16	0.42	0.23	0.69	0.0061	0.03	0.148	0.12	0.27	0.54	3.30	15.16	2.17	40.7	стоимость 1 пуда чу-			
8	200	7.07	14.14	"	"	4.66	0.47	0.27	0.81	0.0072	0.04	0.177	0.14	0.28	0.56	3.52	17.66	2.21	41.5	гуна—2 р. 00.			
9	225	8.03	16.06	"	"	5.20	0.52	0.33	0.99	0.0090	0.05	0.201	0.16	0.31	0.62	3.84	19.90	2.21	41.5	1 п. пряжи—4 р. 00.			
10	250	9.30	18.60	"	"	5.71	0.57	0.39	1.17	0.0106	0.05	0.233	0.19	0.33	0.66	4.14	22.74	2.27	42.5	1 п. свинца—3 р. 00.			
12	300	12.05	24.10	0,6	1.80	6.75	0.68	0.55	1.65	0.0150	0.08	0.300	0.24	0.40	0.80	5.25	29.35	2.45	46.0	плата укладчику—0.80			
14	350	15.60	31.20	"	"	7.28	0.73	0.76	2.23	0.0200	0.10	0.390	0.31	0.47	0.94	6.16	37.36	2.67	48.2	плата слесарю—2.00 р въ сутки.			
16	400	18.55	37.10	"	"	8.15	0.82	0.87	2.61	0.0230	0.14	0.464	0.37	0.53	1.06	6.80	43.90	2.74	51.4	Глубина заложения			
18	450	21.60	43.20	"	"	9.00	0.90	0.96	2.88	0.0300	0.15	0.540	0.43	0.55	1.10	7.26	50.46	2.80	52.5	трубъ—1° 00.			
20	500	24.88	49.76	"	"	11.00	1.10	1.21	3.63	0.0339	0.17	0.622	0.50	0.60	1.20	8.40	58.16	2.91	54.5	откосы—1 : 5.			
24	600	31.90	63.80	0,7	2.10	14.00	1.40	1.45	4.35	0.0390	0.20	0.797	0.64	0.75	1.50	10.39	74.19	3.09	58.0	Ширина по дну для			
28	700	41.83	83.66	"	"	18.00	1.80	1.89	5.67	0.0520	0.26	1.045	0.84	0.94	1.88	12.55	96.21	3.44	64.5	трубъ:			
30	750	47.05	94.10	"	"	20.00	2.00	2.00	6.00	0.0550	0.28	1.176	0.94	1.00	2.00	13.32	107.42	3.58	67.1	діам. 4"—10"—0.30 с.			
34	800	58.30	116.60	"	"	24.00	2.40	2.90	8.70	0.0660	0.33	1.457	1.17	1.16	2.32	17.02	133.62	3.93	73.6	діам. 12"—20"—0.40 с.			
38	900	73.90	147.80	0,8	2.40	28.00	2.80	3.05	9.15	0.0800	0.40	1.847	1.48	1.18	2.36	18.59	166.39	4.38	82.1	діам. 24"—34"—0.50 с.			
40	1000	81.20	162.40	"	"	31.00	3.10	3.20	9.60	0.0870	0.44	2.03	1.62	1.21	2.42	19.58	181.98	4.55	85.4	діам. 38"—48"—0.60 с.			
48	1200	106.05	213.00	"	"	40.00	4.00	4.00	12.00	0.1070	0.54	2.56	2.13	1.60	3.20	24.27	237.28	4.95	92.8				
																			Въ среднемъ $k = 2.99$ или 3.00.				

Въ среднемъ $k_r = 2.59$ или 3.00.

Приложение № 2.

Таблицы опредѣленія экономическихъ коэффициентовъ k_p , k_m и k_e для паровыхъ насосовъ.

Таблица № 1 для опредѣленія k_p (коэффициента стоимости первоначальнаго устройства паровыхъ насосовъ съ котлами, фундаментами, дымовой трубой и пр. принадл. на одну лошад. силу).

Система паровыхъ насосовъ.	М о щ н о с т ь н а с о с о в ъ .														Средняя округлен- ная вели- чина k_p
	10	20	30	40	50	60	80	100	125	150	175	200	250	300	
	Стоймость въ рубляхъ на 1 НР.														
Одноцилиндровые . . .	410	405	395	385	370	350	330	305	280	—	—	—	—	—	360
Compound	—	—	—	—	375	360	350	340	330	310	300	285	265	250	315
Тройн. расширенія . .	—	—	—	—	—	375	360	350	340	320	300	280	265	—	325

Таблица № 2 для опредѣленія k_m (коэффициента стоимости первоначальнаго устройства водоподъемныхъ зданій на одну лошадиную силу).

Система паровыхъ насосовъ.	Мощность насосовъ.														Средняя округлен- ная вели- чина k_m
	10	20	30	40	50	60	80	100	125	150	175	200	250	300	
	Стоимость въ рубляхъ на 1 НР.														
Одноцилиндровые . . .	150	125	110	100	90	80	70	60	55	—	—	—	—	—	95
Compound	—	—	—	—	100	90	80	70	60	50	45	42	38	34	60
Тройн. расширенія . .	—	—	—	—	—	—	90	80	70	60	55	50	45	40	62

Общее примѣчаніе къ таблицамъ № 1 и 2.

При установкѣ 2 насосовъ подлежитъ принимать 1, 9, а 3 насосовъ— 2,7 приведенныхъ въ означенныхъ таблицахъ величинъ k_p и k_m .

Таблица № 3 для опредѣленія k_c (коэффициента величины годовыхъ расходовъ по эксплуатаціи насосовъ, отнесенныхъ къ 1 HP).

Система машины.	Стоим. 1 пуда топли- ва.	М о щ н о с т ь н а с о с о в ъ .														Средняя и округл. величина
		10	20	30	40	50	60	80	100	125	150	175	200	250	300	<i>k</i> .
Одноцилиндров.	8 к.	130	117	105	97	82	75	73	71	68	—	—	—	—	—	91
	12	170	156	140	128	110	100	96	92	88	—	—	—	—	—	120
	16	215	195	175	160	135	125	120	115	110	—	—	—	—	—	150
	24	301	273	245	224	190	175	168	161	154	—	—	—	—	—	210
Compound.	8 к.	—	—	—	—	64	60	56	54	53	52	51	50	49	48	54
	12 к.	—	—	—	—	82	78	72	69	68	66	65	63	62	60	69
	16	—	—	—	—	101	96	88	85	83	81	79	77	75	73	84
	24	—	—	—	—	138	132	120	116	113	110	107	104	101	98	114
Тройного расши- рения.	8 к.	—	—	—	—	—	—	54	50	49	48	47	46	45	44	48
	12 к.	—	—	—	—	—	—	71	65	64	63	62	61	60	59	63
	16 к.	—	—	—	—	—	—	88	81	79	78	77	76	75	74	79
	24 к.	—	—	—	—	—	—	122	112	109	108	107	106	105	104	109

Приложеніе № 3.

Таблица виртуальных экономических коэффициентов.

Таблица коэффициента α_1 (по уширению рвовъ).

За- ложен. отко- совъ и	Вели- чина уши- рения.	Стоян. работъ по ушир. т	Діам. трубъ d_f	k_f	α_1	d_f	k_f	α_1	d_f	k_f	α_1	d_f	k_f	α_1
4 3 2,5 2 1,5 1 0,88	0,05 0,13 0,20 0,30 0,46 0,80 1,32	0,13 0,32 0,50 0,75 1,15 2,00 3,30	4	2,16	0,02 0,04 0,06 0,08 0,13 0,23 0,33	5	2,14	0,01 0,03 0,05 0,07 0,11 0,20 0,32	6	2,15	0,01 0,03 0,04 0,06 0,09 0,16 0,26	7	2,17	0,01 0,02 0,03 0,05 0,08 0,13 0,22
d_f	k_f	α_1	d_f	k_f	α_1	d_f	k_f	α_1	d_f	k_f	α_1	d_f	k_f	α_1
8	2,21	0,01 0,02 0,03 0,05 0,07 0,11 0,20	9	2,21	0,01 0,02 0,03 0,04 0,06 0,10 0,17	10	2,27	0,01 0,01 0,02 0,03 0,05 0,09 0,15	12	2,45	— 0,01 0,02 0,03 0,04 0,07 0,12	14	2,67	— 0,01 0,01 0,02 0,03 0,05 0,09
16	2,74	— 0,01 0,01 0,02 0,03 0,05 0,08	18	2,80	— 0,01 0,01 0,02 0,02 0,04 0,07	20	2,91	— 0,01 0,01 0,01 0,02 0,04 0,06	24	3,09	— — 0,01 0,01 0,02 0,03 0,05	28	3,44	— — 0,01 0,01 0,01 0,02 0,03
30	3,58	— — 0,01 0,01 0,02 0,03	34	3,93	— — 0,01 0,01 0,02 0,03	38	4,34	— — — 0,01 0,01 0,02	40	4,55	— — — 0,01 0,01 0,02	48	4,95	— — — — 0,01 0,01

Замѣченныя опечатки.

Страница:	Строка:	Напечатано:	Должно быть:
5	2 снизу	примптивню	примитивно
7	13 »	Л. Л. Элькива;	Л. Л. Элькива,
8	17 сверху	Такъ наз.	Такъ напр.
8	9 снизу	вопросамъ, и если	вопросамъ, если
9	6 сверху	какъ зависящей	какъ зависящій
10	14 снизу	l'exploitaitoin	l'exploitation
13	1 »	1000 киллогграммовъ.	1000 килограммовъ.
14	8 »	$1,1 \lambda q_i^2$ d_i^5	$1,1 \lambda q_i^2$ d_i^5
22	4 »	линій.	линій).
25	8 сверху	$+\Delta q_0 H_0 \left\{ \frac{a_i}{75} \right.$	$+\Delta q_0 H_0 \left\{ \frac{a_i}{75} \right.$
26	17 сверху	данныхъ	даниыхъ
26	11 снизу	точность	точность,
28	8 »	$q_i = a$ $i=1$	$q_i = a'$ $i=1$
29	4 »	$\times \sum_{i=n} s_i q_i^3$	$\sum_{i=n} s_i q_i^3$
31	8 сверху	какъ извѣстно	какъ извѣстно,
31	12 снизу	для главныхъ трубъ	для трубъ
33	6 »	$(b_i - x_0) Q^{2/2}$	$(b_i - x_0) Q^{2/5}$
33	3 »	$\sum_{i=n}^{i=1} \frac{(x_0 - a_i) q_i^{2/5}}{l_i^{1/5} (H_0 - H_i)^{1/5}}$	$\sum_{i=n}^{i=1} \frac{(x_0 - a_i) q_i^{2/5}}{l_i^{1/5} (H_0 - H_i)^{1/5}}$
34	8 сверху	$1 + \sum_{i=n}^{i=1} a_i m_i$	$1 + \sum_{i=n}^{i=1} m_i$
36	2 сверху	$\sum_{i=n}^{i=1} \frac{q_i^{2/5}}{i_i^{6/5}}$	$\sum_{i=n}^{i=1} \frac{q_i^{2/5}}{i_i^{6/5}}$