

06  
145

~~Т.Б. 1  
100.6~~



# СБОРНИКЪ

## ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ

### ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I.

— 17 —

### ВЫПУСКЪ XVII.

ТРУДЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И МАТЕРІАЛЫ ДЛЯ ИНСТИТУТСКИХЪ КУРСОВЪ.

(Съ 3 таблицами фототипій въ текстѣ и атласомъ изъ 39 листовъ чертежей).

### ТЕКСТЪ.

#### СОДЕРЖАНІЕ.

1. Ординарный профессоръ А. Г. Нюбергъ и репетиторъ Н. И. Вознесенскій. Угледоѣмы. Механическія приспособленія для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ (съ 21 лист. черт.) . . . . .	1—96
2. Преподаватель и инспекторъ Института Ѳ. Г. Зброженъ. Курсъ внутреннихъ водныхъ сообщеній. Лекціи читанныя въ Институтѣ. Выпускъ 1-ый (съ 15 лист. черт.) . . . . .	1—116
3. Ординарный профессоръ А. Г. Нюбергъ. Переводъ съ англійскаго (съ дополненіями) сочиненія Р. Н. Рунберга. «О пароходахъ для зимняго плаванія и о ледоколахъ» (съ 3 лист. черт.) . . . . .	1—36
4. Н. Тихановъ. Практическія замѣтки по изысканіямъ для желѣзныхъ дорогъ и каналовъ . . . . .	1—58
5. Ординарный профессоръ Ф. Е. Максименно. Курсъ гидравлики. Выпускъ 4-ый. . . . .	269—332
6. Инженеръ Н. Н. Лахтинъ. Опыты стриванія каменныхъ строительныхъ матеріаловъ (съ 3 фототипіями въ текстѣ) . . . . .	1—20

311875

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.  
1890.

1990

об  
лчс

# СБОРНИКЪ

## ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ

### ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I.

978/175

03

### ВЫПУСКЪ XVII.

ТРУДЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И МАТЕРІАЛЫ ДЛЯ ИНСТИТУТСКИХЪ КУРСОВЪ.

(Съ 3 таблицами фототипій въ текстѣ и атласомъ изъ 39 листовъ чертежей).

**ТЕКСТЪ.**

1890

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.  
1890.



# СО Д Е Р Ж А Н І Е.

---

	СТР.
1. <b>Ординарный профессор А. Г. Нюбергъ и репетиторъ Н. И. Вознесенскій.</b> Углеподъемы. Механическія приспособленія для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ (съ 21 лист. черт.) . . . . .	1— 96
2. <b>Преподаватель и инспекторъ Института Ѳ. Г. Зброженъ.</b> Курсъ внутреннихъ водяныхъ сообщеній. Лекціи читанныя въ Институтѣ. Выпускъ 1-й (съ 15 лист. черт.) . . . .	1—116
3. <b>Ординарный профессоръ А. Г. Нюбергъ.</b> Переводъ съ англійскаго (съ дополненіями) сочиненія Р. Н. Рунеберга. «О пароходахъ для зимняго плаванія и о ледоколахъ» (съ 3 лист. черт.) . . . . .	1— 36
4. <b>Н. Тихановъ.</b> Практическія замѣтки по изысканіямъ желѣзныхъ дорогъ и каваловъ. . . . .	1— 58
5. <b>Ординарный профессоръ Ф. Е. Максименко.</b> Курсъ гидравлики. Выпускъ 4-ый . . . . .	269—332
6. <b>Инженеръ Н. К. Лахтинъ.</b> О вывѣтриваніи каменныхъ строительныхъ матеріаловъ (съ 3 фототипіями въ текстѣ). . .	1— 20

---

# УГЛЕПОДЪЕМЫ.

МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИСПОСОБЛЕНІЯ

ДЛЯ НАГРУЗКИ СУДОВЪ

КАМЕННЫМЪ УГЛЕМЪ.

СОСТАВИЛИ

А. Г. Ньюбергъ и Н. И. Вознесенскій,

ИНЖЕНЕРЫ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, 9.

1890.

# Механическія приспособленія для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ. (Углеподъемы).

## ПРЕДИСЛОВІЮ.

При развитіи портовыхъ построекъ въ Азовскомъ и Черномъ моряхъ, съ цѣлью облегченія отправки изъ нихъ каменнаго угля и хлѣбнаго зерна, необходимо озаботиться о возможности примѣненія для этой цѣли механической силы, тамъ гдѣ она можетъ уменьшить накладные расходы, лежащіеся вообще очень большимъ бременемъ на отпускъ товаровъ изъ не вполне благоустроенныхъ портовъ. Мариуполь, Потп и Батумъ, какъ главные порты, изъ коихъ предвидится отпускъ угля въ большихъ размѣрахъ, должны быть снабжены механическими приспособленіями для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ. Для Мариуполя этотъ вопросъ уже рѣшенъ, установкою въ немъ двухъ гидравлическихъ углеподъемовъ, для желѣзнодорожныхъ вагоновъ, заказанныхъ на заводѣ Армстронга въ Ньюкэстлѣ.

Помимо этихъ приспособленій, дѣйствіе которыхъ наиболее выгодно водою, подъ большимъ паромъ, можетъ одновременно развиваться, въ нашихъ портахъ, общее примѣненіе гидравлическихъ крановъ и другихъ необходимыхъ въ портахъ механизмовъ, и потому полагаю полезнымъ издать настоящій трудъ, заимствованный изъ отчета двухъ германскихъ инженеровъ (Фюра и Швершга) командированныхъ съ цѣлью изученія гидравлическихъ углеподъемовъ въ Англіи и Голландіи. Отчетъ этотъ напечатанъ въ „Zeitschrift des Architekten und Ingenieur-Verein, zu Hannover“ за 1887 годъ.

Для заказа приспособленій для погрузки угля въ Мариупольскомъ портѣ, Министерствомъ пут. сообщ. въ 1888 году командированы

были въ Англію инженеры: Лисовскій (начальникъ работъ по устройству Маріупольскаго порта) и Возпесенскій (дѣлопроизводитель комиссіи по устройству коммерческихъ портовъ). Инженерамъ этимъ вмѣстѣ съ тѣмъ поручено было осмотрѣть главнѣйшіе угольные порты Англіи. Настоящая переводная статья дополнена по сему инженеромъ Возпесенскимъ, данными полученными имъ при осмотрѣ угледобычъ на мѣстѣ. Общее описаніе каменноугольныхъ портовъ въ Англіи (лекція прочитанная въ Институтѣ Инженеровъ Путей Сообщенія 16 Октября 1889 г.) помѣщено отдѣльной статьей въ журналѣ Министерства п. с. за 1889 г., а часть относящаяся до угледобычъ въ Маріуполѣ включена здѣсь.

*А. Нюбергъ.*

## I. Введение и общій обзоръ литературы.

Инженеры Фюръ и Шверингъ имѣли порученіе отправиться въ Англію для изученія употребляемыхъ тамъ въ портахъ механическихъ приспособленій для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ и о семъ представить подробный и обстоятельный отчетъ.

Порученіе это было исполнено съ 8 сентября по 6 октября 1885 г., причемъ посѣщаемы были слѣдующіе порты: Лондонъ, Бристоль, Кардиффъ, Ньюпортъ, Сванси, Ливерпуль, Гарстонъ, Биркенхэдъ, Глазго, Лисъ (Leith), Бонесъ (Boness), Ньюкэстль, Миддельборо, Саутъ-Шильдъ, Сундерландъ, Гульль, Грэтъ-Гримсби и Бостонъ. На обратномъ пути необходимо было посѣтить и Роттердамъ такъ какъ тамъ, фирмою Вильямъ Армстронгъ-Митчель и К<sup>о</sup> въ Ньюкэстлѣ на Тайнѣ, устраивавшей новѣйшія углеподъемы въ Англіи, устанавливался подобный же механизмъ.

Помимо отдѣльныхъ статей, помѣщенныхъ въ Англійскихъ періодическихъ техническихъ изданіяхъ (Engineering, Engineer, Minutes of proceeding of Civil Engineers и другіе) имѣется въ нѣмецкой технической литературѣ, касательно Англійскихъ механическихъ приспособленій для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ, весьма много статей изъ коихъ наиболее цѣнны слѣдующія: 1) Dümmling, Zeitschrift für Bauwesen 1878 стр. 271. 2) Schnitzer Zeitschrift für Bankunde 1878 стр. 235. 3) Bucheister, Reisebericht über die hauptsächlichsten Kohlenhäfen Grossbritanniens. 4) Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen 1877 стр. 298 и 5) Frahm, Zeitschrift für Bauwesen 1887 стр. 111).

Краткое описаніе механизмовъ для перегрузки каменнаго угля въ суда, имѣется въ слѣдующихъ русскихъ сочиненіяхъ:

*Н. Петровъ.* Перегрузка и храненіе хлѣбнаго зерна. Перегрузка каменнаго угля. 1882 г. Стр. 65—72.

*А. Нюбергъ.* Портовые товарные склады. 1884 г. Стр. 78—83.

Данные собственно о портовыхъ устройствахъ Кардиффа можно найти въ сочиненіяхъ мѣстнаго инженера *М. Connachie* „The Bute docks, Cardiff“, 1885 г. и „On recent extensions of dock accommodation and coal-shipping machinery at the Bute docks“.

Въ этихъ трудахъ описываются главнѣйшія механическія приспособленія для нагрузки каменнаго угля, которыя устранились въ Англіи до 1878 г., почему настоящая статья заключаетъ въ себѣ главнымъ образомъ тѣ улучшенія, которыя въ теченія послѣднихъ 10-ти лѣтъ были сдѣланы, а также указывается на тѣ механизмы, которые, хотя-бы и съ нѣкоторыми измѣненіями, могутъ представлять интересъ въ примѣненіи къ континенту Европы.

Измѣненія въ конструкціи угленодъемовъ, необходимыя въ примѣненіи къ нашимъ условіямъ, находятся въ значительной степени въ зависимости отъ размѣровъ и устройствъ каменноугольныхъ вагоновъ, почему необходимо нѣсколько коснуться и послѣднихъ.

## II. Вагоны для перевозки каменнаго угля.

Въ Англіи вагоны для перевозки каменнаго угля не принадлежатъ отдѣльнымъ лицамъ, или желѣзнодорожнымъ обществамъ, а большею частью владѣльцамъ каменноугольныхъ копей, отъ которыхъ къ порту устраиваются пути исключительно для перевозки угля, а потому и эти пути, равно какъ и вагоны, устраиваются небольшихъ размѣровъ, наиболѣе экономическимъ способомъ. Большинство вагоновъ устроены на двухъ парахъ колесъ, въ разстояніи отъ 2½ до 3 метровъ ось отъ оси; все верхнее строеніе деревянное, съ продолженіемъ продольныхъ рамныхъ брусевъ вмѣсто буфферовъ; вмѣстимость этихъ вагоновъ отъ 7 до 10 тоннъ. Для опораживанія вагоны снабжены: съемными стѣнками (преимущественно на западномъ берегу въ Валлсеѣ), створчатыми днищами (на восточномъ берегу въ Ньюкэстлѣ, Гүлтѣ и др.), или тѣми и другими вмѣстѣ— въ зависимости отъ чего, помимо другихъ причинъ, устроены тамъ же, тѣ или другія приспособленія для нагрузки судовъ.

Вагоны снабжены, большею частью, рычажными тормозами, при

расположеніи тормазныхъ колодокъ между колесами. Какъ не примитивно это устройство вагоновъ, но оно имѣетъ то преимущество, что для установки вагона на углеподъемахъ, достаточно изогнуть концы рельсовъ, соотвѣтственно окружности колесъ. Это оказывается совершенно достаточнымъ, и другихъ приспособленій для удержанія вагона на платформѣ, при выгрузкѣ угля наклоненіемъ вагона, не требуется.

Далѣе небольшіе размѣры вагоновъ и отсутствіе особыхъ тормазныхъ будокъ, дасть возможность въ значительной степени уменьшить размѣры углеподъема, чего нельзя допустить при болѣе далекой перевозкѣ угля по желѣзной дорогѣ и при другихъ условіяхъ эксплуатаціи подавжнаго состава, для перевозки каменнаго угля.

### III. Описаніе новѣйшихъ углеподъемовъ въ различныхъ портахъ.

#### 1. Лондонъ и Бристоль.

Эти величайшіе въ мірѣ порты и доки, въ отношеніи грузки угля, устроены такъ, что суда грузятся лишь для собственнаго потребленія. Это производится тѣми же кранами (преимущественно гидравлическими), постоянными или подвижными, которые служатъ для грузки товаровъ вообще. Для угля употребляются желѣзныя бадьи, которыя наполняются: или на угольномъ вагонѣ, въ складѣ или на набережной и затѣмъ подвѣшиваются при помощи крана надъ трюмомъ судна, въ который опускаются и опорожняются, опрокидываясь или раскрывая дно \*).

Въ одномъ лишь Альбертъ докѣ въ Лондонѣ, производится на-грузка судовъ цѣлыми вагонами, для чего пользуются поворотными кранами, подъемная сила которыхъ около 25 тоннъ. Вагоны вмѣщаютъ 10 тоннъ угля и подвѣшаны къ цѣпи крана, надъ трю-

\*) Доставка угля въ Лондонъ производится не по желѣзнымъ дорогамъ, а на судахъ работажныхъ, изъ угольныхъ портовъ Англій.

момъ судна, выгружаются, опрокидываніемъ (наклоненіемъ) и открываніемъ одной лобовой стѣнки вагона.

Въ Лондонѣ производится нагрузка угля, какъ выше было сказано, почти исключительно на суда и на заводы, для собственнаго потребленія. Уголь доставляется на судахъ и выгружается: или прямо на мѣстѣ потребленія на заводѣ, или въ склады, большею же частью выгрузка угля производится въ лихтерныя суда, при помощи которыхъ онъ, по Темзѣ, доставляется дальше къ мѣсту назначенія.

Этотъ способъ распределенія, доставки и отправки угля, обусловленъ тѣмъ, что угольные копи расположены очень далеко отъ Лондона, и желѣзнодорожная доставка становится невозможною, вслѣдствіе высокихъ тарифовъ.

Эти тарифы составляютъ для угля изъ Южнаго Валлисса, смотря по положенію горнаго участка, считая отъ рудника до доковъ Лондона, съ доставкою на край набережной (къ борту судна) при вагонахъ отправителя, отъ 262,4 до 308,71 коп. металлическихъ, или въ среднемъ 285,55 коп. за тонну \*).

Желѣзнодорожный тарифъ отъ копей до Кардиффа, составляетъ всего 26,24 до 49,39 коп. за тонну \*\*) (въ среднемъ 37,81 коп.) такъ что разниця въ желѣзнодорожномъ тарифѣ за уголь, между Лондономъ и Кардиффомъ составляетъ около 246,97 коп. за тонну.

Въ такомъ же отношеніи находятся тарифы для другихъ портовъ, лежащихъ въ угольныхъ районахъ: Nottinghamshire, Derbyshire, Leicestershire, South Yorkshire, West Riding и проч., для которыхъ разниця эта составляетъ отъ 216,10 до 246,97 коп. за тонну, при этомъ вагоны принадлежать владѣльцу угля или рудника.

Пароходные тарифы отъ Ньюкэстля до Лондона составляютъ отъ 111,14 до 122,75 коп. за тонну. Не обращая вниманія на удобство нагрузки судовъ углемъ, оказывается для судна выгоднымъ, по сдачѣ своего груза въ Лондонѣ, идти съ балластомъ въ Кардиффъ, для принятія тамъ угля, ибо стоимость обхода судна изъ Лондона въ

\*) Въ отчетѣ Фюра и Шверинга данныя о стоимости доставки и пр. приведены въ германскихъ маркахъ; здѣсь данныя эти вездѣ переведены въ металлическія копейки, считая 1 марку въ 30,871 мет. коп.

\*\*) Здѣсь приведено сравненіе съ Кардиффомъ, ибо этотъ портъ есть главное мѣсто вывоза угля изъ каменноугольнаго района Валлисса.

Кардиффъ съ балластомъ, не достпаетъ разницы между стоимостью доставки угля по желѣзной дорогѣ и на пароходѣ.

Здѣсь это обстоятельство затронуто вслѣдствіе того, что при первомъ взглядѣ кажется страннымъ, отчего въ Лондонѣ нѣтъ механическихъ приспособленій для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ, такъ какъ при этомъ суда, по сдачѣ штучнаго груза, могли бы тотчасъ, не уходя съ мѣста, принять, тутъ же въ портѣ, уголь для отправки.

При такихъ условіяхъ портовые сборы въ Лондонѣ не представляютъ большаго интереса по сравненію съ портами континента; слѣдуетъ лишь привести то, что обыкновенные сборы съ пароходовъ, за исключеніемъ тѣхъ, которые идутъ въ Европейскіе и Средиземные порты, составляютъ 23,16 коп. на регистертонну.

Угольные пароходы входящіе въ доки для разгрузки, платятъ всего 7,72 коп. съ рег. тонны, общихъ доковыхъ сборовъ и кромѣ того столько же за каждую тонну угля, перегруженную въ докѣ въ другіе суда или въ лпхтера.

Цѣна на вывозной уголь составляетъ въ Лондонѣ, съ поставкою на бортъ судна, 370,45 коп. за тонну, для Валлійскаго угля, и 338,98 коп. для угля сѣвернаго района.

## 2) Кардиффъ.

Кардиффъ, главный каменноугольный портъ южнаго Валлса, весьма удобенъ для изученія англійскихъ механическихъ приспособленій для грузки каменнаго угля, применимыхъ также и при другихъ условіяхъ, какъ напримѣръ для портовъ континента.

При этомъ, каменный уголь Валлса на столько сходенъ напримѣръ съ углемъ Вестфальскимъ, который, представляя одинаковую хрупкость и мягкость, требуетъ тѣхъ же предосторожностей при погрузкѣ, какія приняты въ Кардиффѣ. Вслѣдствіе сего на западномъ побережьи Англій, а въ особенности въ Кардиффѣ, вагоны почти исключительно снабжены открывающимися лобовыми стѣнками, а не дпщевыми клапанами, а потому для высыпки изъ нихъ угля вагоны наклоняются, какъ и въ Вестфалии.

Кромѣ того, Портовое Управление Кардиффа, постоянно заботится объ улучшеніи имѣющихся для этой цѣли механическихъ приспособ-

соблений, а потому весьма поучительно слѣдить за общимъ ходомъ развитія ихъ; притомъ постоянное улучшеніе этихъ приспособленій, достигается тамъ значительными затратами со стороны частныхъ лицъ. Портовые устройства принадлежать одному весьма богатому члену англійской аристократіи, Маркизу Бюту (Marquise of Bute), а потому тамъ легче осуществить новыя идеи, чѣмъ при другихъ условіяхъ, когда все устройство принадлежитъ акціонерному обществу, которое для производства опытовъ не располагаетъ достаточными средствами. Въ 1886 году портовые устройства Кардиффа (подробнѣе описанныя ниже) перешли въ собственность вновь образованнаго акціонернаго общества „The Bute docks company“. Складочный капиталъ общества опредѣленъ въ 3½ милл. фунт. стерл. (22 милл. руб. мет.); въ эту сумму вошла также стоимость новаго дока (Roath dock), показанная въ суммѣ 500.000 фунт. (3.143.200 руб. мет.). Водная площадь доковъ, составляющая нынѣ собственность названной компаніи, въ общемъ достигаетъ 110¼ экрамъ (98.450 кв. саж.). Наконецъ къ улучшенію этихъ приспособленій, способствовала также не мало конкуренція другихъ портовъ, лежащихъ на Бристольскомъ каналѣ и препятствовавшая образованію общества доковъ въ Кардиффѣ. Это обстоятельство постоянно принуждаетъ Управленіе Доковъ Бюта улучшать свои портовые устройства.

При такихъ условіяхъ не безинтересно, хотя и вкратцѣ, описать ходъ развитія Кардиффскихъ портовыхъ приспособленій.

Доки Бюта устроены Маркизомъ Бютомъ въ 1839 году и стоили около 2½ милліоновъ металлическихъ рублей.

Годовой грузооборотъ Кардиффа простирался тогда до 7000 тоннъ (420000 пуд.) въ 1874 году эта цифра увеличилась до 3½ милліоновъ, въ 1883 г. до 8½ милліоновъ тоннъ. Кардиффъ представляетъ по этому хорошій примѣръ, указывающій какимъ образомъ увеличеніе грузооборота, идетъ въ зависимости отъ улучшенія портовыхъ устройствъ.

Въ 1839 г. открытъ былъ собственно только т. н. *Западный докъ* (West-dock) \*. Черт. I. Листъ I. Докъ этотъ, имѣющій длину въ 4000 фут., ширину въ 170 фут. и глубину въ 19 фут. на протяженіи первыхъ 1500 пог. фут. отъ входа и 13 фут. на протяженіи остальныхъ

---

\* На планѣ Кордиффскаго порта черт. 1, листъ I вкратцѣ слѣдующая ошибка Западный докъ—читать Восточный докъ, а Восточный докъ—читать Западный докъ.

2500 футъ, въ настоящее время, ввиду столь незначительной ширины и глубины, служитъ почти исключительно для парусныхъ судовъ. Промѣ означеннаго дока кампаніи нынѣ принадлежатъ еще:

*Восточный докъ* (East-dock); длина его 4300 фут.; ширина 300 ф. на протяженіи первыхъ 1000 пог. футъ и 500 ф. на протяженіи остальныхъ 3300 ф.; глубина одинакова на всемъ протяженіи дока, 25 фут. Слѣдуетъ замѣтить, что эти оба дока снабжаются особымъ каналомъ прѣсною водою изъ рѣки Тифъ; ввиду сего, уровень воды въ нихъ поддерживается постоянно одинаковый, независимо отъ высоты морскаго прилива.

*Новый бассейнъ* (Roath-bassin); длиною 1000 фут., шириною 350 фут. и глубиною при сплгійныхъ приливахъ 35 ф. 9 д. а во время квадратуръ 25 ф. 9 д.

*Новый докъ* (Roath-dock)\*), соединенный съ предъидущимъ бассейномъ и имѣющій одинаковую съ нимъ глубину; длина его 2400 ф., ширина 300 ф. Докъ этотъ, названннй для судовъ самыхъ большихъ размѣровъ, открытъ въ 1887 г. Но еще лѣтомъ 1888 г. не были поставлены приспособленія для погрузки угля (исключая двухъ большихъ крановъ, о которыхъ сказано будетъ ниже) и почти не было уложено рельсовыхъ путей къ набережнымъ этого дока.

Въ 1885 и 1886 гг. изъ Кардиффа отправлено (согласно даннымъ, помѣщеннымъ въ „Cardiff tidetables and almanach“) угля за границу, около 7 милл. тоннъ, а въ другіе порты Англіи, около 1 милл. тоннъ, итого около 8 милл. тоннъ (почти 500 милл. пудовъ).

### *Общее расположеніе рельсовыхъ путей.*

Планъ Кардиффскихъ доковъ черт. 1 показываетъ общее расположеніе путей, проведенныхъ къ порту, отъ всѣхъ въ этомъ мѣстѣ состоящихъ между собою желѣзныхъ дорогъ именно: Taff-Vale Railway; Rhymney R. w.; Great Western R. w. Желѣзныя же дороги London North Western R. w. и Midland R. w. имѣютъ сообщеніе съ доками Кардиффа, лишь при посредствѣ вышеприведенныхъ дорогъ, къ которымъ онѣ примыкаютъ.

\* Непозависимый на чертежѣ.

Изъ общаго расположенія видно, что старались развить, возможно болѣе, сѣть запасныхъ путей, для установки груженыхъ поѣздовъ.

Длина главныхъ путей, которые содержатся портовымъ управленіемъ, составляетъ 40 километровъ а запасныхъ и побочныхъ путей 72 килом. Въ Англии, какъ извѣстно, каменноугольныя копи лежатъ вообще не далеко отъ берега и у нихъ имѣется по большей части широкое развитіе путей, для стоянки груженыхъ вагоновъ, поэтому возможно немедленно по приходѣ судна за углемъ, подать необходимое количество поѣздовъ для нагрузки судна. По словамъ мѣстнаго начальства, къ докамъ Кардиффа подается для выгрузки, среднимъ числомъ, въ недѣлю (6 дней) около 20.000 угольныхъ вагоновъ, что въ рабочій день среднимъ числомъ составляетъ около 3.300 вагоновъ. При болѣе удаленности коней, какъ напримѣръ на сѣверѣ, вообще подобный способъ эксплуатаціи не можетъ дать пользы, а потому необходимо при этомъ, у самаго мѣста грузки угля, расположить просторныя угольные склады и устроить соответственное количество разъѣздныхъ и запасныхъ рельсовыхъ путей.

Какъ видно на планѣ, каждое приспособленіе для грузки угля связано съ группою рельсовыхъ путей. Въ раньше устроенныхъ портовыхъ приспособленіяхъ доковъ Бюта, расположеніе путей сдѣлано какъ показано на чертежѣ 2, листъ 1.

Въ поворотному кругу, расположенному противъ каждаго углеподъема, идутъ два пути, изъ коихъ одинъ служитъ для груженыхъ а другой для отвода порожнихъ вагоновъ.

Для облегченія подачи и отката вагоновъ, пути у поворотнаго круга имѣютъ соответственный небольшой уклонъ.

Пути для груженыхъ и негруженыхъ вагоновъ связаны каждый переводами, съ путей длиною 1.100 метр. идущимъ вдоль края набережной; параллельно послѣднимъ, расположены группы длинныхъ запасныхъ путей.

Ясно, что при такомъ расположеніи, подача отдѣльныхъ вагоновъ къ углеподъемамъ будетъ затруднена.

Болѣе удобное расположеніе путей мы видимъ при позже устроенномъ восточномъ докѣ (East dock).

На западной сторонѣ сего дока, въ предупрежденіи остановокъ въ подачѣ вагоновъ къ отдѣльнымъ углеподъемамъ, противъ каждаго изъ нихъ, расположены три непосредственно связанныхъ между со-

бою грузовыхъ пути, такъ что большое количество вагоновъ можетъ быть установлено непосредственно противъ каждаго углеподъема. Эти грузовые пути, связаны кромѣ того съ группами короткихъ запасныхъ путей, сложная дашна которыхъ, соответствуетъ дашнѣ одного грузоваго пути.

Широкая полоса портовой площади, дала возможность соединить здѣсь пути между собою переводами, вмѣсто поворотныхъ круговъ.

На восточной сторонѣ восточнаго дока, углеподъемы поставлены въ независимость другъ отъ друга тѣмъ, что они лишь по два вмѣстѣ связаны непосредственно съ одною паркою грузовыхъ путей. Объ особенномъ расположеніи путей при нѣкоторыхъ новѣйшихъ углеподъемахъ подробнѣе изложено будетъ ниже.

### *Прежнія приспособленія для грузки угля.*

Прежнія приспособленія для грузки угля устроены съ рельсовымъ путемъ высокаго уровня и подвижною платформою, уравновѣшенною противовѣсомъ. (Balance tip).

Платформа эта приводится въ движеніе, по вертикальному направленію, вѣсомъ нагруженнаго вагона, обратное же движеніе достигается дѣйствіемъ противовѣсовъ. Для опораживанія вагоновъ, средняя часть платформы дѣлается поворотною около горизонтальной оси, расположенной противъ середины платформы.

При опусканіи вагона (нагруженнаго) задняя (считая отъ корабля) часть платформы удерживается на нѣкоторой высотѣ, тогда какъ передняя опускается до жолоба, подставленнаго у края корабля; вагонъ при этомъ наклоняется и уголь изъ него высыпается черезъ створчатую лобовую его стѣнку. Подъѣздные пути для перныхъ устроенныхъ такимъ образомъ углеподъемовъ, расположены на высотѣ 5,6 метр. надъ поверхностью набережной.

Такъ какъ при наклоненіи вагоновъ теряется около 2,7 метр. высоты, то эти приспособленія пригодны были лишь для невысокихъ судовъ, а потому скоро пришли къ убѣжденію (при постоянно возрастающихъ размѣрахъ судовъ) о необходимости, хотя-бы для нѣкоторыхъ углеподъемовъ, пути поднять выше (до 8,2 метр.) надъ уровнемъ набережной; а такъ какъ при высокой водѣ, вагоны, при наклоненіи ихъ, должны быть подняты еще выше, то вмѣсто того

чтобы опускать переднюю часть платформы (обращенную къ кораблю), поднимают заднюю (обращенную къ берегу).

Это поднятіе платформы, которое совершалось прежде ручными лебедками, вскорѣ было замѣнено дѣйствіемъ давленія воды. \*)

При проложеніи къ Кардиффскому порту желѣзной дороги Great Western, пути были уложены въ уровнѣ набережной, а не на высотѣ, какъ на дорогахъ „Taff“, „Vale“ и „Rhyney g. w.“ которыя подходят къ порту насыпями и вѣдукамп, а потому при нагрузкѣ судовъ, необходимо было груженые угольные вагоны поднимать, на высоту соотвѣтствующую удобной высынкѣ угля наклоненіемъ вагона, соразмѣрно съ высотой грузящихся судовъ. Для этой цѣли поставлены были гидравлическіе углеподъемы, исполненные на заводѣ Армстронга въ 1858 году, снабженные сначала деревянными станинами и платформами. Въ настоящее-же время, большая часть установленныхъ въ различныхъ портахъ углеподъемовъ, устроены всецѣло изъ желѣза и чугуна.

### *Гидравлическіе углеподъемы Армстронга. Черт. 3. Листъ 2.*

Платформа, на которой становится груженный вагонъ, поднимается при помощи гидравлическаго пресси (съ ныряломъ), помѣщеннаго подъ нею, до требуемой для высылки угля высоты. Діаметръ ныряла 0,3 метр. (11,8 дюйм.), высота подъема (длина ныряла) отъ 6 до 8 метр. и среднее давленіе воды около 50 атмосферъ. Другимъ небольшимъ гидравлическимъ прессомъ среднюю часть платформы, на которой стоитъ вагонъ, ставятъ въ наклонное положеніе, вращеніемъ около горизонтальной, впереди (къ кораблю) расположенной осл, до уклона требуемаго для свободной высылки угля въ подставленный впереди желобъ. Размѣры этого втораго пресси: діаметръ ныряла, 0,2 метр. (7,87 дюйм.) длина, 2,9 метр. Этотъ прессъ укрѣпленъ къ платформѣ углеподъема, на шипахъ въ подшинникахъ, такимъ образомъ, что при наклоненіи платформы, можетъ на нихъ вращаться; вода проведена въ прессъ сквозь одинъ изъ шиповъ, который для этой цѣли дѣлается полымъ. Послѣ опоражниванія вагона,

---

\*) Подробное описаніе этихъ механическихъ углеподъемовъ можно найти въ «Proceeding of the mechanical engineers 1884 Aug. а равно въ вышеуказанной статьѣ Дюммиага». Zeitschrift für Bauwesen 1878 г. стр. 274.

вода сначала выпускается изъ малого пресса, для установки платформы, а съ нею и вагонъ, горизонтально, затѣмъ изъ большого пресса, причемъ ныряло его входитъ въ цилиндръ отъ собственной тяжести, тяжести платформы и находящагося на ней вагона и все опускается до тѣхъ поръ, пока платформа не дойдетъ до уровня рельсовъ, уложенныхъ на поверхности набережной; тогда порожній вагонъ можетъ быть снятъ съ углеподъема и отведенъ въ сторону для установки на платформѣ другого груженаго вагона.

Для удержанія вагона на платформѣ, при наклоненіи послѣдней, изгибаются концы рельсовъ, которые обхватываютъ на половину окружности переднія колеса вагона, съ задней же стороны вагонъ прикрѣпляютъ цѣпью къ крюку, укрѣпленному на платформѣ.

При этихъ углеподъемахъ нѣтъ вовсе противовѣсовъ, почему мертвый грузъ, заключающійся въ вѣсѣ платформы и ныряла, постоянно поднимается давленіемъ воды вмѣстѣ съ углемъ, почему и получается не малая потеря въ работѣ всего прибора.

Желобъ, служащій для приѣма угля непосредственно изъ вагона и направляющій послѣдній въ трюмъ судна, дѣлается изъ котельнаго желѣза длиною отъ 4 до 6 метр. и шириною отъ 3 до 3,7 метр. въ верхнемъ концѣ и 1,5 метр. въ нижнемъ при наибольшей глубинѣ въ 1,4 метр. Онъ вмѣщаетъ по меньшей мѣрѣ одинъ вагонъ угля (10 тоннъ). Уклонъ его при работѣ долженъ быть таковъ, чтобы уголь медленно скатывался. Для ускоренія выгрузки угля изъ вагоновъ въ желобъ, вагону даютъ большій уклонъ противу уклона желоба, а также уголь изъ вагона спихиваютъ шестами рабочіе, находящіеся на небольшой лѣстницѣ, укрѣпленной на платформѣ возлѣ вагона.

Желобъ снабженъ въ нижнемъ своемъ концѣ двумя дверцами, которыя открываются и запираются особымъ приводомъ и служатъ для регулированія движенія угля въ желобѣ. На днище желоба сдѣлана во всю ея ширину рѣшетка изъ полосъ, сквозь которую мелкій уголь можетъ быть выдѣленъ, въ случаѣ же ненадобности выдѣленія его, рѣшетка эта закрывается щиткомъ, подвѣшанномъ подъ желобомъ на шарнирѣ. Желобъ устанавливается всегда такъ, чтобы нижній конецъ его касался края люка судна, для чего служатъ двѣ цѣпи, прикрѣпленныя близъ нижняго конца желоба. Эти цѣпи идутъ вверхъ станши углеподъема, черезъ два блока и спускаются внизъ

вдоль передня вертикальная стойка. Нижние концы этих цѣпей могутъ быть прикрѣпляемы какъ къ стойкамъ, такъ и къ подвижной платформѣ, особыми зажимами.

Укрѣпляя цѣпи на подвижной платформѣ устанавливаютъ сначала нижній конецъ желоба у края люка судна, подниманіемъ или опусканіемъ платформы, послѣ чего цѣпи укрѣпляются къ стойкамъ углеподъема. Верхній конецъ желоба лежитъ на желѣзной балкѣ, расположенной между передними стойками станины и удерживается на нихъ собачками, укрѣпленными на концахъ балки и упирающимися въ зубчатые рейки, приделанные къ стойкамъ.

Послѣ установки нижняго конца желоба, собачки освобождаются и балку поднимаютъ или опускаютъ, движеніемъ подвижной платформы, до тѣхъ поръ, пока желобъ не получитъ надлежащій уклонъ, послѣ чего собачки устанавливаются упирая ихъ въ зубчатые рейки, для укрѣпленія балки въ поднятомъ ея положеніи. Необходимая поддержка желоба, при его установкѣ, подвижной платформой достигается двумя задвижками или рычагами, которые вообще при движеніи платформы вдвинуты или втянуты свободно, не задѣвая за балку желоба. Для поддержанія же желоба они выдвигаются или укрѣпляются горизонтально, въ какомъ положеніи они, при поднятіи платформы, подхватываютъ балку желоба снизу.

Чтобы при началѣ грузки угля, до образованія въ трюмѣ судна угольной пирамиды, вершина которой будетъ наравнѣ съ палубою, уголь при паденіи въ трюмъ не измельчался, первоначальная грузка производится при помощи установленнаго на углеподъемѣ *поворотнаго крана* (antibreakage crane).

Кранъ этотъ имѣетъ вращательное движеніе около вертикальной оси; на верхнемъ концѣ наклонно установленной стрѣлы крана, помещенъ блокъ съ цѣпью, къ свободному концу которой подвѣшана открытая бадья квадратной формы въ 1 метръ въ сторонѣ и около 1 метра глубины, дно бадьи сдѣлано наклонно въ одну сторону. Большая боковая стѣнка, имѣющая высоту около 1,5 метра подвижна на шарнирахъ, расположенныхъ у верхняго ея края. Стѣнка эта запирается задвижкой расположенной у нижняго конца ея.

При началѣ грузки, уголь изъ вагоновъ высыпаютъ въ предварительно установленный желобъ, въ которомъ дверцы у нижняго его конца закрыты. Затѣмъ бадью крана опускаютъ въ люкъ судна, подѣ

конец желоба. Открывая дверцы послѣдняго наполняютъ бадью, которую опускаютъ до дна трюма, и выдвигая задвижку подвижной стѣнки, бадью поднимаютъ, при этомъ уголь находящійся въ ней высыпается безъ паденія, скользя по наклонному дну бадьи.

Для открыванія задвижки бадьи, отъ нея идетъ вверхъ шнуръ, за который тянутъ, когда бадья опущена на дно трюма; для запиранія же опять стѣнки, шнуръ освобождаютъ и задвижка собственною тяжестью опускается и входитъ въ ушко, сдѣланное противъ нея, на краю дна бадьи. Для того, чтобы при каждомъ опусканіи бадьи не открывать отдѣльно задвижку, шнурокъ отъ нея прикрѣпляютъ къ краю люка трюма такимъ образомъ, чтобы онъ самъ натягивался при опусканіи бадьи и открывалъ автоматически задвижку. Такимъ способомъ продолжается нагрузка угля до тѣхъ поръ, пока вершина образующагося въ трюмѣ судна конуса угля, не достигнетъ палубы судна. Работа эта идетъ вообще быстро, такъ какъ суда большею частью снабжены промежуточными палубами и ихъ незначительное разстояніе другъ отъ друга не требуетъ насыпки конусовъ большихъ размѣровъ, чтобы вершины ихъ достигали палубъ.

По окончаніи этой работы, кранъ поворачиваютъ въ сторону и дальнѣйшая нагрузка производится, высыпая уголь непосредственно изъ желоба.

Всѣ движенія крана, какъ то: поворотъ его, поднятіе и опусканіе стрѣлы и бадьи, достигаются здѣсь также гидравлическою силою, и работа пмъ совершается такъ быстро, что время, требуемое для подачи нагруженнаго вагона, поднятія его, высыпки угля въ желобъ, и затѣмъ для опусканія вагона и отвода его въ сторону, совершенно достаточно для опораживанія наполненнаго желоба, при помощи крана.

Если при грузкѣ угля необходимо выдѣлать мелочь черезъ рѣшетки на днѣ желоба, то мелочь эта падаетъ на палубу судна, откуда собирается или въ отдѣльныя помѣщенія или сметается въ кучи, для нагрузки въ отдѣльные вагоны, подаваемые по набережной, или въ суда; для этой послѣдней цѣли употребляется также приведенный выше кранъ.

Для управленія этимъ приборомъ, требуется лишь одинъ человѣкъ, который помѣщается на особой платформѣ, на верху углеподъема, откуда ему должны быть хорошо видны: какъ подача ваго-

новъ, такъ и самая нагрузка угля. Работа этого человѣка заключается лишь въ запираніи и открываніи впускныхъ и выпускныхъ крановъ, которыя, для облегченія ихъ дѣйствія, снабжены всѣ противувѣсами.

Общее число людей, занятыхъ при углеподъемѣ обыкновенно четверо: одинъ человѣкъ, какъ сказано, стоитъ въ особой будкѣ на углеподъемѣ и управляетъ всѣми рычагами; другой находится при верхнемъ концѣ лотка, онъ отпираетъ и запираетъ откидную переднюю стѣнку вагона, и, въ случаѣ надобности, особымъ шестомъ помогаетъ скольженію угля по лотку; наконецъ, двое рабочихъ заняты подачею и откатомъ вагоновъ: зацѣпляютъ вагонъ крюкомъ съ цѣпью отъ кабестана, дѣйствуютъ кабестаномъ и ир. Иногда (какъ о томъ сказано ниже относительно Пенарта) при подачѣ и откатѣ вагона ограничиваются однимъ рабочимъ.

Такого рода углеподъемы имѣются въ Кардиффѣ 16 штукъ, они всѣ исполнены на заводѣ William Armstrong, Mitchell et Co Elswick works Newcastle upon Tyne.

*Гидравлическіе углеподъемы братьевъ Браунъ.  
(Brown brothers).*

Кромѣ углеподъема Армстронга существуетъ еще другой, въ общемъ почти такой же конструкціи, но въ деталяхъ значительно отличающійся отъ него; онъ устроенъ на заводѣ Brown brothers, Rosebank Ironworks Edinburg. Черт. 4. Листъ 2.

При немъ платформа поднимается не непосредственно ныряломъ гидравлическаго пресса, расположеннаго подъ нею, а помощью двухъ прессовъ, расположенныхъ вертикально, въ сторонѣ.

Ныряло имѣетъ длину, соответствующую половинѣ высоты подъема платформы, и на концѣ его укрѣпленъ шкивъ, черезъ который перекинутъ ремень, сплетенный изъ нѣсколькихъ проволочныхъ канатовъ; одинъ конецъ этого ремня прикрѣпленъ на глухо къ фундаменту пресса, а другой по шкивамъ идетъ къ верхней части углеподъема, гдѣ перекинутый снова черезъ шкивы, прикрѣпленъ окончательно къ серединѣ платформы. Кромѣ того для уравновѣшиванія мертваго груза имѣются противувѣсы.

Для поднятія платформы выдвигается ныряло гидравлическаго пресса, причѣмъ платформа направляется между стойками станины

подъема. Для приданія вагону наклоннаго положенія, къ средней части платформы, которая сдѣлана вращающеюся около горизонтальной оси, у края обращеннаго къ кораблю, прикрѣплены у задняго ея конца (считая отъ корабля), на шарнирахъ двѣ стойки, верхніе концы которыхъ также шарнирами прикрѣплены къ балкѣ расположенной между стойками станины; отъ этой послѣдней, съ середины ея, идетъ проволочный ремень къ верхней части подъема, откуда, черезъ шкивы, направлень къ особому прессу, который расположенъ горизонтально, подъ основаніемъ углеподъема; примѣнія при этомъ полисиасты, возможно при незначительномъ ходѣ ныряла пресса, достигнуть значительнаго передвиженія конца ремня.

Кранъ для предварительной нагрузки угля и другія части углеподъема, устроены совершенно также какъ при подъемахъ Армстронга.

*Подача груженныхъ и отводъ порожнихъ вагоновъ при этихъ углеподъемахъ.*

На чертежѣ 5 листѣ 3 изображено расположеніе путей при новомъ портовомъ бассейнѣ въ Кардиффѣ (Roath basin) А и В суть два постоянные гидравлическіе углеподъема, конструкции Армстронга. Груженые вагоны подаются по путямъ *a b* которые, для облегченія подачи вагоновъ, имѣютъ уклонъ къ углеподъему, прекращающійся на разстояніи около 15 метровъ отъ вѣсоваго помоста, расположеннаго передъ поворотнымъ кругомъ, черезъ который всѣ груженые вагоны должны идти. Притягиваніе вагоновъ производится гидравлическимъ кабестаномъ и отводнымъ блокомъ, черезъ который перекидывается канатъ идущій отъ вагона. Поварачиваніе круга производится также кабестаномъ, для этой цѣли къ кругу прикрѣпленъ крюкъ, къ которому прикрѣпляется канатъ отъ кабестана.

Послѣ поворота, опрокидыванія и обратной отдачи вагона, они отводятся по путямъ *m n*, предназначеннымъ исключительно для порожнихъ вагоновъ.

Откатъ вагоновъ по этимъ путямъ, производится самокатомъ; небольшимъ толчкомъ, который дается вагону, онъ скатывается по небольшому уклону пути отъ поворотнаго круга. Оба эти пути сведены къ общему грузовому пути, почему уклоны, даваемые имъ отъ поворотнаго круга, идутъ не далеко и должны быть далѣе замѣнены обратными уклонами, для приведенія ихъ къ одному уровню. Опо-

роженные вагоны, небольшимъ паровозомъ, передвигаются партіями на главный грузовой путь. Путь *fg* служитъ для установки вагоновъ нагружаемыхъ мелкимъ углемъ, отдѣляемымъ при грузкѣ корабля.

### *Подвижныя приспособленія для нагрузки каменнаго угля.*

При помощи описанныхъ углеподъемовъ можно грузить одновременно лишь одинъ люкъ корабля. Для нагрузки въ другіе люки необходимо передвинуть корабль, подставляя по очереди каждый люкъ подъ углеподъемъ. Для исполненія сего необходимо на это время поднять желобъ почти въ вертикальное положеніе, и повернуть въ сторону вылетъ крана, или установить его также вертикально. Не смотря на остановку, которая должна при этомъ происходить, большіе корабли предпочитаютъ грузиться поочередно лишь въ одинъ люкъ, принимая во вниманіе, быстроту и правильность съ которою грузка вообще производится гидравлическими углеподъемами; быстрота эта доходить до того, что судно вмѣстимостью въ 1500 тоннъ можетъ выгрузить свой балластъ и быть вполнѣ нагруженнымъ въ теченіи 24 часовъ.

При постоянномъ возрастаніи размѣровъ каменноугольныхъ судовъ, и употребленіи для угля почти исключительно пароходовъ, становится желательнымъ для ускоренія, грузить одновременно въ два и болѣе люковъ.

Относительно *быстроты* нагрузки судовъ углеподъемами, можно замѣтить слѣдующее: по личнымъ наблюденіямъ оказалось, что для выгрузки углеподъемомъ (типовъ, употребляемыхъ въ Кардиффѣ, Пенартѣ и Ньюпортѣ) одного вагона требуется не болѣе *двухъ минутъ*, въ теченіи которыхъ производится слѣдующія операци: груженный вагонъ зацѣпляется крюкомъ съ цѣпью отъ кабестана, подтягивается на поворотный кругъ, поворачивается, ставится на платформу углеподъема, платформа поднимается и наклоняется, уголь высыпается въ желобъ, платформа опускается, вагонъ снова выкатывается на поворотный кругъ, поворачивается и отталкивается на другой путь; при этомъ каждый груженный вагонъ проходитъ еще черезъ вѣсовую помость, гдѣ взвѣшивается. Такимъ образомъ, между послѣдовательнымъ появленіемъ на поворотномъ кругѣ двухъ груженныхъ вагоновъ, проходитъ около двухъ минутъ, обыкновенно на нѣсколько секундъ менѣе. Считая посему 30 вагоновъ въ часъ, по

10 тоннъ на вагонъ, оказывается, что наибольшая *часовая* погрузная способность углеподъема составляетъ 300 тоннъ въ часъ. Это и есть то число, которое сообщено \*) для Ньюпорта, какъ максимальное. Но такое количество рѣдко достигается. Обыкновенно же наибольшее количество угля, погружаемое въ 1 часъ, по сообщенію мѣстнаго инженера, составляетъ не болѣе 200 тоннъ. Происходить это оттого, что разсыпка угля въ трюмъ (trimming) производимая ручнымъ способомъ, не успѣваетъ за работой углеподъема; отъ этого постоянно наблюдается, что поданный на углеподъемъ груженный вагонъ, не тотчасъ же выгружается, а ожидаетъ на платформѣ, пока изъ трюма судна не дадутъ сигнала, что сыпать туда можно.

Если говорить не о часовой, а о *суточной* работѣ углеподъемовъ, то погрузная ихъ способность значительно уменьшается, такъ какъ много времени уходитъ на установку судовъ — сначала однимъ люкомъ къ лотку углеподъема, потомъ другимъ, такъ что суточная погрузная способность показывается уже не въ  $20 \times 200$  \*\*) = 4000 тоннъ, а значительно менѣе. Въ отчетѣ Фюра и Шверпига говорится о 1500 тоннахъ. Мѣстный инженеръ М. Соппошиччѣ считаетъ суточную погрузную способность углеподъема въ 1000 тоннъ, причемъ прибавляетъ однако, что „рѣдко случается, что угольный пароходъ въ 2000 тоннъ вмѣстимости входитъ въ докъ при высокой водѣ, выгружаетъ балластъ, беретъ свой грузъ и уходитъ съ приливомъ слѣдующаго дня, такъ что вся операція занимаетъ менѣе 24-хъ часовъ. Въ мѣстномъ указателѣ сообщается случай, что въ одинъ пароходъ погружено было въ 24 часа — 2400 тоннъ угля, однимъ постояннымъ углеподъемомъ, безъ употребленія подвижныхъ крановъ, или добавочныхъ углеподъемовъ.

Дѣйствительное годовое среднее количество угля, выгруженное углеподъемами, зависящее отъ степенн равномерности, по временамъ года, грузооборота порта, а равно и отъ размѣровъ нагружаемыхъ

\*) См. ниже въ отдѣлѣ о Ньюпортѣ.

\*\*) Считаю 20 рабочихъ часовъ въ сутки; въ Кардиффѣ работа производится и ночью, при электрическомъ освѣщеніи. Работа прекращается въ субботу, въ 5 ч. пополудни, но если судно можетъ быть догружено къ 10 часамъ вечера, то ему разрѣшается окончить погрузку; возобновляется работа въ понедѣльникъ въ 6 часовъ утра.

судовъ, конечно, еще меньше. Въ 1886 г. (когда не былъ еще открытъ Roath-dock) отправлено угля изъ Кардиффа всего (считая и каботажи) около 8 милл. тоннъ; изъ нихъ отправлено собственно докамп Бюта  $6\frac{1}{2}$  милл. Такимъ образомъ оказывается, что при 41-мъ углеподъемѣ (въ 1886 г.) выгружено каждыиъ, среднимъ числомъ,  $\frac{6.500.000}{41 \times 12 \times 25} = 530$  тоннъ въ сутки.

Для достиженія одновременной нагрузки угля въ нѣсколько люковъ, въ Кардиффѣ установлены два особаа приспособленія: подвижной поворотный кранъ Армстронга и подвижной гидравлическiй углеподъемъ Тайлора.

*Подвижной поворотный гидравлическiй кранъ Армстронга*  
черт. 5 и 6 листъ 3, передвигается на особаахъ путяхъ отъ черт. 5 уложешныхъ между двумя углеподъемами, параллельно краю набережной; ширина пути 7,32 метра.

Поворотные круги постоянныхъ углеподъемовъ, соединены между собою путемъ идущимъ параллельно берегу, который служитъ для установки вагоновъ съ углемъ, для поворотнаго крана.

На этомъ пути помѣщается платформа, составляющая часть пути; на ней устанавливается груженный вагонъ, и платформа вмѣстѣ съ вагономъ поднимается краномъ, поворотомъ котораго подвѣшиваются надъ люкомъ трюма корабля.

Платформа сама, подвѣшивается четырьмя цѣпями неравной длины, прикрѣпленнымъ къ балкѣ, къ которой также прикрѣплена подвѣсная цѣпь отъ крана; этимъ платформа, при подъемѣ, получаетъ наклонное положенiе, причемъ одна пара колесъ плотно прижимается къ изогнутымъ концамъ рельсовъ платформы, предупреждая сдвиженiе вагона.

Поднятый вагонъ, подвѣшенный надъ люкомъ корабля, спускается внизъ до люка и устанавливается поворачиванiемъ около вертикальной оси (подвѣсной цѣпи) такъ, чтобы онъ нижнимъ своимъ концомъ приходился противъ люка. Затѣмъ открываютъ подвижную лобовую стѣнку вагона и уголь высыпается, скользя по наклонно расположенному дну вагона. Черт. 6.

Для болѣе легкаго скатыванiя угля, вагонъ при этомъ еще болѣе наклоняють, что достигается соединенiемъ подвѣсныхъ цѣпей крана съ цѣпями платформы, черт. 7 листъ 3. Здѣсь наклоненiе

вагона надъ локомъ, производится помощью особой цѣпи (Tirring chain), нижнимъ концомъ прикрѣпленной къ заднему концу платформы, а другимъ концомъ прикрѣпленной къ нырялу особаго пресса, расположеннаго въ косомъ направленіи, на отдѣльной, задней стрѣлѣ, крана. Цѣпь эта, при опусканіи платформы, вытравливается вмѣстѣ съ подъемною цѣпью; затѣмъ помощью малаго пресса, помѣщеннаго вертикально, вверху крана, на главной станинѣ, цѣпь эту укорачиваютъ (дѣлаютъ въ ней „бухту“), вслѣдствіе чего задній конецъ платформы, а слѣдовательно и вагона, приподнимаются.

Наклонный прессъ, вмѣстѣ съ поддерживающею его стрѣлою, служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ противовѣсомъ, отчасти уравнивающимъ подъемную стрѣлу съ подвѣшеннымъ къ ней вагономъ.

Этими поворотными кранами работа производится такимъ образомъ: пока одинъ люкъ нагружается постояннымъ углеподъемомъ, два остальные люка нагружаются этими кранами. Пока кранъ работаетъ, онъ укрѣпляется на мѣстѣ четырьмя гидравлическими прессами, расположенными по угламъ основанія крана.

Соединеніе прессовъ крана съ водопроводомъ, достигается особыми съемными трубами.

### *Подвижные гидравлическіе углеподъемы Тайлора.*

Эти подвижные гидравлическіе углеподъемы, установленные въ Кардиффѣ, служатъ также для одновременной нагрузки угля въ два люка, и заключаются въ примѣненіи передвижнаго гидравлическаго углеподъема, въ связи съ системою грузовыхъ и откатныхъ путей, связанныхъ между собою поворотными кругами, черт. 8 листъ 3. По одному пути уложенному параллельно краю набережной, шириною около 7,5 метровъ, устанавливается на шести роликахъ станокъ углеподъема, платформа котораго подвѣшена на четырехъ цѣпяхъ. Посредствомъ шкивовъ, расположенныхъ въ верху станка, подъемныя цѣпи отъ платформы проводятся къ 4-мъ свободнымъ шкивамъ въ нижней части вертикальнаго гидравлическаго пресса, помѣщеннаго по серединѣ задней стороны станка углеподъема, а концы ихъ прикрѣплены наглухо къ самому станку.

Длина ныряла этого пресса равна половинѣ высоты подъема платформы, почему при выдвиганіи давленіемъ воды ныряла, подь-

емныя цѣпи платформы будутъ натягиваться шкивами, помѣщенными на концѣ его и поднимать платформу.

На продолженіе прессы, служащаго для поднятія платформы, находится выше другой гидравлической прессы съ нрядомъ идущимъ вверхъ, меньшаго діаметра, на верхнемъ концѣ котораго помѣщена перекаладина съ двумя подвижными шкивами, движущаяся въ направляющихъ.

Этимъ послѣднимъ прессомъ платформа устанавливается въ наклонное положеніе двумя цѣвями, прикрѣпленными къ заднему краю подвижной части платформы, перекинутыя черезъ шкивы прессы, онѣ другими своими концами, на глухо прикрѣплены къ ступку углеподъема.

Установка платформы наклонно, совершается тогда когда она сначала вмѣстѣ съ нагруженнымъ вагономъ поднята до высоты, требующей для высыпки угля въ желобъ. Остальные гидравлическіе прессы служатъ, какъ и при другихъ углеподъемахъ, для дѣйствія поворотнаго крана.

Напорная вода впускается въ механизмы, изъ уложеннаго вдоль набережной, водопровода, при помощи гидрантовъ расположенныхъ на главной трубѣ, по съемнымъ трубнымъ звѣнямъ, которыя при каждой установкѣ углеподъема, отдѣльно устанавливаются.

Такъ какъ подвижные углеподъемы могутъ быть установлены противъ грузовыхъ путей, расположенныхъ на разстояніи 6 метр. другъ отъ друга, то необходимо желобамъ дать движеніе въ горизонтальной плоскости, около вертикальной оси, съ такимъ расчетомъ, чтобы нижній конецъ его могъ передвигаться въ каждую сторону на 3 метра отъ средняго своего положенія.

Обыкновенный путь, расположенный между рельсами, по которымъ передвигается углеподъемъ, служатъ для установки вагоновъ, принимающихъ мелкій уголь, просыпающійся сквозь рѣшетки желоба.

Наконецъ слѣдуетъ еще указать на передвижной углеподъемъ Бетлера (Butler), который былъ выставленъ въ Лондонѣ, на выставкѣ изобрѣтеній (Kensington). Этотъ приборъ еще нигдѣ не осуществленъ, но въ своихъ деталяхъ представляетъ не малый интересъ и доказываетъ, что въ настоящее время въ Англій много занимаются устройствомъ передвижныхъ углеподъемовъ \*).

\*) Описание сего прибора можно найти въ вышеприведенныхъ сочиненіяхъ Frahm и въ Engineer за 1885 г.

Подвижные углеподъемы оказываются пока не практичными либо они отъ передвиженія разшатываются, почему для грузки угля одновременно въ два и болѣе люковъ лучше имѣть постоянные углеподъемы и передвижные краны.

Передвижные углеподъемы, а равно и большіе краны при постоянныхъ углеподъемахъ, пока устраивались лишь какъ опыты, имѣвшіе цѣлью выяснить вопросъ, какимъ образомъ возможно, при принятыхъ въ Кардиффѣ и др. окрестныхъ портахъ способахъ нагрузки, организовать пагрузку угля одновременно въ нѣсколько люковъ судна? Въ новомъ докѣ (Roath-dock), назначенномъ, какъ уже упомянуто, для судовъ самыхъ большихъ размѣровъ, задачу эту предполагается рѣшить совершенно инымъ способомъ, предложеннымъ г.г. Льюисомъ (Sir William Thomas Lewis), главнымъ распорядителемъ компаніи Бюта, и Гюнтеромъ, мѣстнымъ механикомъ; на этотъ способъ, названными лицами взята привиллегія.

Въ общихъ чертахъ, какъ видно изъ схематическаго чертежа 61 на листѣ 21, способъ этотъ заключается въ слѣдующемъ. Вдоль набережной дока прокладывается сначала рельсовый путь, на которомъ располагаются большіе подвижные гидравлическіе краны. Рядомъ съ этимъ путемъ располагается второй путь, обыкновенной колеи. На пути этомъ, на разстояніи 30 метровъ другъ отъ друга, расположень рядъ поворотныхъ круговъ А. Къ каждому кругу, въ линіи того-же пути, примыкають съ обѣихъ сторонъ двѣ прямоугольныя ямы съ вертикальными стѣнками. Въ ямахъ этихъ расположены: сначала (считая отъ круга) платформы В и В<sub>1</sub>, съ рельсами, лежащими въ уровнѣ путевыхъ рельсовъ; подъ платформу расположенъ гидравлическій прессъ, помощью котораго можетъ быть приподнятъ ближайшій къ поворотному кругу конецъ платформы и, такимъ образомъ, вся платформа, вращаясь на горизонтальной оси, можетъ быть наклонена въ сторону, противоположную кругу; въ связи съ платформу находится желобъ С. Рядомъ съ платформу, на днѣ ямы поставленъ призматическій желѣзный ящикъ Д, могущій вмѣстить въ себѣ содержаніе цѣлата угольнаго вагона (до 10-ти тоннъ); площадь основанія этого ящика такова, что она меньше площади обыкновенныхъ судовыхъ люковъ; вмѣсто дна ящика имѣеть створчатая дверь. Къ каждому поворотному кругу примыкають (подъ угломъ къ набережной): путь для подачи груженыхъ вагоновъ и путь

для отката порожнихъ вагоновъ. Пути эти затѣмъ поворачиваются по кривой и устроены подобно путямъ, прямыкающимъ къ постояннымъ угледодемамъ въ Roath-bassin'ѣ. Листъ 3, черт. 5.

Дѣйствіе прибора таково: Грузеный вагонъ подается на поворотный кругъ, поворачивается на  $90^\circ$ , ставится на платформу В; платформа эта съ поставленнымъ на ней вагономъ, помощью находящагося подъ нею гидравлическаго пресса, наклоняется въ сторону лотка С, лобовая стѣнка вагона откидывается, и уголь черезъ лотокъ С сынается въ ящикъ Д. Затѣмъ ящикъ Д зацѣпляется цѣпью подвижнаго гидравлическаго крана Е, вытаскивается этимъ краномъ изъ ямы, причемъ поднимается выше стоящихъ на пути вагоновъ (для чего кранамъ придана соотвѣтственная высота), переносится къ люку судна, опускается въ этотъ люкъ до уровня насыпаннаго уже въ трюмъ угля и, наконецъ, раскрываніемъ створчатаго дна ящика, уголь высыпается въ трюмъ. Тѣмъ временемъ выгруженный вагонъ, по приведеніи платформы В въ горизонтальное положеніе, убирается черезъ кругъ А на откатной путь, и затѣмъ подается новый грузеный вагонъ, который выгружается тѣмъ-же порядкомъ; при этомъ, если ящикъ Д не поставленъ еще на мѣсто, то вагонъ можетъ быть переведенъ на другую платформу, при томъ-же кругѣ, В', и выгруженъ въ ящикъ Д'.

Тѣмъ временемъ у другаго люка судна производится грузка тѣмъ же порядкомъ, помощью втораго гидравлическаго крана, чрезъ ближайшій къ этому люку поворотный кругъ.

Помощью описаннаго приспособленія имѣется въ виду достигнуть слѣдующихъ результатовъ:

1) Значительно упростить работу по разравниванію угля въ трюмѣ судна (trimming), задерживающую работу угледодемовъ; ящикъ съ углемъ, опускаясь черезъ люкъ судна почти до поверхности нагруженнаго уже угля, устраниваетъ необходимость насыпать, при началѣ грузки подъ люкомъ, особые угольные конуса; дѣйствіе прибора по сему сходно съ дѣйствіемъ описанной въ текстѣ ниже воронки Генгера;

2) Грузить одновременно въ два (и болѣе) люка судна; при этомъ устраняется еще совершенно необходимость передвигать судно во время пагрузки, для установки люковъ судна послѣдовательно противъ лотка

углеподъема; этимъ послѣднимъ достигается значительный выигрышь времени;

и 3) Вслѣдствіе уменьшенія высоты паденія угля, уменьшить значительно ломку и измельченіе его, что для Валлійскаго угля, ломкаго, представляеть большую важность.

По изложеннымъ причинамъ отъ описаннаго приспособленія ждуть значительныхъ результатовъ—какъ въ отношеніи уменьшенія времени нагрузки судовъ, такъ и въ видахъ увеличенія достоинства отпускаемаго угля. Конечно, устройство этихъ приспособленій представляеть гораздо сложнѣе, а слѣдовательно и дороже устройства другихъ устройствыхъ въ Кардиффѣ приспособленій; приспособленія эти и устриваются теперь въ докъ, назначенномъ для самыхъ большихъ, посѣщающихъ портъ, судовъ. По свѣдѣніямъ, сообщаемымъ мѣстнымъ портовымъ начальствомъ, два крана описанной системы погрузили 3.800 топшъ угля въ одинъ большой пароходъ, начавъ работу въ пятницу въ 6 часовъ утра и окончивъ нагрузку въ субботу къ 12 часамъ ночи, т. е. въ теченіи  $1\frac{3}{4}$  сутокъ. Въ теченіи однихъ сутокъ, слѣдовательно, въ пароходъ погружено было  $\frac{3.800 \times 4}{7} = 2171$  топшъ.

Во времени посѣщенія Кардиффа инженерами Лиссовскимъ и Вознесенскимъ (Іюль 1888 г.), было устроено только два такихъ крана на южной набережной Roath-dock'a; но имѣлось въ виду обдѣлать описаннымъ образомъ всю южную набережную означеннаго дока. Сѣверная-же набережная дока предназначена для привозной торговли, въ увеличеніи которой сильно заинтересовано мѣстное портовое начальство и весь торговый міръ Кардиффа; до сихъ-же поръ большинство судовъ, приходящихъ за углемъ, приходитъ съ балластомъ (въ 1886 г. въ докъ компаніи Бюта привезено 1.133.743 топшъ разныхъ товаровъ, а отпущено 6.867.845 топшъ).

### *Воронки для предупрежденія измельченія угля.*

Для того, чтобы при началѣ грузки угля онъ не измельчался при паденіи въ трюмъ, употребляются изобрѣтенія Гентеромъ (Charles Hunter) и применяемыя въ Кардиффѣ воронки (antibreakage telescope hopper). Черт. 9. Листъ 3.

Приспособленіе это состоитъ изъ воронки квадратнаго сѣченія, которая устанавливается въ люкъ трюма, къ низу она продолжается

трубою составленную изъ двухъ, надвигающихся одна на другую частей; нижняя часть упирается въ желѣзный конусъ, который подвѣшивается цѣпью къ особой стрѣлкѣ крана.

При нагрузкѣ угля въ воронку, она отъ тяжести угля будетъ удлиняться, вытягивая боковыя цѣпи, поддерживающія нижнюю часть трубы до тѣхъ поръ, пока онѣ не будутъ совсѣмъ вытянуты. Далѣе при опусканіи конуса, онъ отдѣлится отъ трубы, и въ образуемомъ зазорѣ уголь будетъ высыпаться падаю на дно трюма съ небольшою высоты, не пзмельчаясь.

Укороченіемъ подвѣсныхъ цѣпей, удлиненіе трубы можетъ быть урегулировано.

Опороживаніе вагона въ 10 тоннъ, при употребленіи воронки, можетъ быть достигнуто этимъ краномъ въ теченіи 2½ до 3 минутъ.

9) Всего при Кардиффскихъ докахъ, принадлежащихъ компаніи Бюта, лѣтомъ 1888 г. состояло угледоѣемовъ разнаго типа:

Баланспрныхъ угледоѣемовъ:

въ западномъ докѣ . . . . .	13
въ восточномъ докѣ . . . . .	12

Гидравлическихъ угледоѣемовъ:

въ входномъ каналѣ . . . . .	1
(для снабженія углемъ букспрныхъ пароходовъ и мелкихъ кабатажныхъ судовъ въ восточномъ докѣ и входномъ къ нему бассейнѣ . . . . .	8
въ Roath bassin'ѣ . . . . .	9 (изъ нихъ одинъ передвижной).

Гидравлическихъ крановъ для выгрузки цѣпныхъ вагоновъ:

въ Roath bassin'ѣ . . . . .	1
въ Roath dock'ѣ (устроено пока). . . . .	2

Итого угледоѣемовъ . . . . . 46

Кромѣ того имѣется еще портовыхъ механизмовъ, большинство коихъ дѣйствуетъ гидравлическою силою:

У входнаго канала: 1 гидравл. кранъ въ 10 тоннъ подъемной силы, 1 паровой кранъ въ 6 тоннъ и 1 ручной въ 4 тонна.

Въ Западномъ докѣ: 5 крановъ въ 10 тоннъ и 5 крановъ для выгрузки балласта, могущихъ выгрузить по 100 тоннъ въ часъ каждый.

Въ *Восточномъ докѣ*: 3 такихъ же балластныхъ крана, большой кранъ въ 60 тоннъ, 22 гидравлическихъ крана подъемною силою отъ 2-хъ до 20-ти тоннъ.

Въ *Poath bassin's*, 1 гидравл. кранъ въ 2 тонны.

Механизмы для отпирания воротъ доковъ приводятся также въ дѣйствіе гидравлическою силою; тою же силою дѣйствуютъ и кабестаны для втягиванія судовъ въ доки.

Для приведенія въ дѣйствіе всѣхъ гидравлическихъ механизмовъ при докахъ служатъ двѣ двухъ-цилиндровыя паровыя машины, по 40 силъ каждая. Паровыя цилиндры имѣютъ 16 дюйм. въ діаметрѣ и ходъ поршня въ 20 дюйм. Они дѣйствуютъ непосредственно на четыре нагнетательныхъ насоса діам. въ  $4\frac{3}{4}$  дюйма, которые накачиваютъ воду въ три аккумулятора. Два изъ этихъ аккумуляторовъ находятся въ томъ же машинномъ зданіи (зданіе это расположено около входной части доковъ) и состоятъ каждый изъ ныряла, діам. 17 дюйм., нагружаемаго 70-ю тоннами гравія, чѣмъ достигается давленіе въ трубахъ въ 700 фунт. на квадр. дюймъ (46 атм.). Третій аккумуляторъ (уравнительный) помѣщенъ отдѣльно, у конца Восточнаго дока, т. е. въ разстояніи немногимъ болѣе одной версты отъ машиннаго зданія. Этотъ послѣдній аккумуляторъ имѣетъ ныряло діам. въ 20 дюйм., нагруженное 100 тоннами, что даетъ то-же давленіе въ трубахъ. При паровыхъ машинахъ находятся четыре котла, длин. 25 фут., и діам. по 5 ф. 6 дюйм.; обыкновенно въ дѣйствіи находятся три котла.

Трубы для прохода напорной воды къ гидравлическимъ механизмамъ имѣютъ діаметръ отъ 3-хъ до 5-ти дюймовъ.

*Главнѣйшіе денежные сборы* въ Кардиффѣ суть слѣдующіе:

а) *Общіе доковыя сборы*:

Общіе доковыя сборы (dock dues) раздѣляются, по роду судовъ и мѣсть отправления и прихода, а также и по тому какими частями порта пользуются, на четыре класса:

## І К Л А С С Ъ.

Для нарусныхъ судовъ и пароходовъ приходящихъ изъ Великобританскихъ или Ирландскихъ портовъ, или идущихъ

щихъ въ одинъ изъ этихъ портовъ, вмѣстимостью ниже 100 тоннъ, за каждую регистертонну. . . . . 4 коп. \*)

Вмѣстимостью отъ 100 до 200 тоннъ за каждую регистертонну. . . . . 5,25 к.

Для парусныхъ судовъ вмѣстимостью свыше 200 тоннъ за каждую регистертонну. . . . . 8,03 „

Для пароходовъ вмѣстимостью свыше 200 тоннъ за каждую регистертонну. . . . . 5,25 „

### II К Л А С С Ъ.

Для всѣхъ судовъ идущихъ въ Европейскіе порты, расположенные между Нордкапомъ и мысомъ Фднистеромъ, или приходящихъ изъ нихъ, за каждую регистертонну. . 12,97 „

### III К Л А С С Ъ.

Для каждаго судна приходящаго изъ другихъ Европейскихъ портовъ, или изъ Средиземнаго моря или отправляемаго въ эти порты, за каждую регистертонну. . . . 17,91 „

### IV К Л А С С Ъ.

Для всѣхъ судовъ приходящихъ или отходящихъ въ другіе неупомянутые выше порты, за каждую регистертонну. 23,15 „

Для пароходовъ входящихъ въ доки Бюта для принятія угля лишь для собственной потребности, за регистертонну 10,19 „

#### б) Сборъ для пользованія набережными.

Независимо отъ общихъ портовыхъ сборовъ взимаются сборы въ Кардиффѣ за пользованіе набережными<sup>1)</sup> (Wharfage-gates) которые находятся въ зависимости отъ рода выгруженнаго и нагруженнаго товара; для угля, этотъ сборъ составляетъ на тонну погруженнаго въ судно угля. . . . 5,25 „

Слѣдуетъ замѣтить, что какъ въ Кардиффѣ, такъ и вообще въ другихъ англійскихъ портахъ, общіе доковые сборы (dock-rates, dock-dues) взимаются по внутренней *вмѣстимости судна*, по числу

\*) Всѣ цѣны приведены золотомъ.

регистравыхъ тоннъ его (1 регистровая тонна=100 куб. фут. полезной внутренней вместимости судна). Съ этой же единицы исчисляется и плата лоцманамъ (pilotage-rates), и за пользование буксирными пароходами (towage-rates).

Напротивъ того, сборы за пользование набережными (Wharfage-rates) исчисляются по *вѣсу* (въ вѣсовыхъ тоннахъ) дѣйствительно выгруженныхъ или нагруженныхъ съ набережной *товаровъ*; причѣмъ размѣръ платы зависитъ отъ рода товаровъ. На тѣхъ же основанiяхъ взимается и плата за храненiе товаровъ въ складахъ (Warehouses-rates).

Точно также съ тонны (вѣсовой) погруженного угля исчисляется плата за нагрузку угля углеподъемами (tipping), за взвѣшванiе, за разравниванiе угля въ трюмъ (trimming) рабочими, поставленными компанiей доковъ \*).

Какъ эти сборы, такъ и общiе портовые налагаются не на владельцевъ товара, а на суда.

#### в) Вѣсовые сборы.

Сверхъ приведенныхъ сборовъ, установлены еще въ Кардиффѣ сборы за пользованiе углеподъемами, за каждую тонну нагруженного угля. . . . . 5,25 к.  
сверхъ сего вѣсовыхъ. . . . . 0,62 »

эти сборы уплачиваются продавцами, которые вообще доставляютъ товаръ на бортъ судна.

#### г) Сборы за разсыпку и укладку товаровъ въ трюмахъ (trimming-charges) \*\*).

Для угля погружаемаго въ суда въ особыя помѣщенiя (bunker-coal) т. е. погружаемаго для собственнаго потребленiя, а не какъ грузъ, обыкновенно съ каждой тонны погруженного угля для судовъ однопалубныхъ . . . . . 14,82 к.  
" " 2 палубныхъ. . . . . 20,05 »  
" " 3 " . . . . . 27,78 »

\*) Подробныя данныя о портовыхъ сборахъ въ англiйскихъ портахъ имѣются въ книгѣ: Dock and port charges of great-Britain and Ireland, Herbert Thubron: Liverpool 1885.

\*\*) О разравниванiи угля въ трюмъ подробнѣе см. ниже настоящей статьи.

Если разсыпка угля производится при помощи тачек то прибавляется еще къ вышеприведеннымъ цѣфрамъ . . 10,19 к.

Въ случаѣ нагрузки угля въ особыя занасныя угольные ящички, устраиваемые возлѣ постоянныхъ ящичковъ прибавляется еще къ вышеприведеннымъ цѣфамъ по . . . 2,5 "

Для укладки въ суднѣ угля, погружаемаго какъ грузъ (cargo) взимается: съ однопалубнаго судна, смотря по числу люковъ отъ . . . . . 7,09 до 9,57 "  
 для 2-хъ палубнаго . . . . . 8,95 " 11,73 "  
 " 3-хъ " . . . . . 12,35 " 15,44 "

д) *Балластный сборъ.*

За выгрузку съ отвозкою балласта взимается въ Кардиффѣ съ судовъ вмѣстимостью отъ 100 до 1.000 тоннъ, смотря по величинѣ судна, отъ 15,44 до 30,87 коп. за каждую тонну выгруженнаго и отвезеннаго въ сторону балласта.

Съ судовъ свыше 1.000 тоннъ взимается 33,96 коп., за каждую тонну выгруженнаго и отвезеннаго въ сторону балласта.

Такъ какъ почти всѣ пароходы ходятъ съ водянымъ балластомъ, то этотъ балластный сборъ ложится почти исключительно на парусныя суда.

*Цѣны на каменный уголь.*

Лучшій сортъ пароваго угля (Merthyr smookeless steamcoal) стоитъ въ Кардиффѣ за 1 тонну:

а) Одинъ разъ просѣянный и поставленный въ вагонахъ у копей . . . . . 231,53 коп.

б) Доставка въ Кардиффѣ . . . . . отъ 24,70 до 30,87 "  
 смотря по дальности перевозки (отъ 19 до 30 килом.).

в) Вѣсовыхъ и разгрузочныхъ . . . . . 5,87 "

г) За разсыпку въ трюмъ судна . . . . . 6,17 " 15,44 "

---

По сему цѣна 1-й тонны, поставленной на бортъ судна . . . . . отъ 270,43 до 302,22 коп.

Для угля два раза просѣяннаго цѣна увеличивается на 15,44 к. Фрахтъ на уголь изъ Кардиффа на 1 тонну угля измѣняется, но въ среднемъ представляется въ слѣдующихъ цѣнахъ:

Название портовъ назначенія.	Изъ Кардиффа, Нью-порта и Сванси.	Изъ Нью-кастля или Сундерланда.
	Въ металлическ. копѣйкахъ.	
Александрія . . . . .	285,56	293,28
Бомбей . . . . .	509,37	"
Буэносъ-Айресъ . . . . .	632,86	"
Калькутта . . . . .	385,88	"
Генуа . . . . .	293,28	285,56
Ямайка . . . . .	"	"
Ява . . . . .	555,68	509,37
Портъ-Сандъ . . . . .	293,28	246,97
Ріо-Жанейро . . . . .	509,37	555,68
Сингапуръ . . . . .	540,24	"
Санъ-Франциско . . . . .	493,94	540,24

Въ эти цѣны включены портовые сборы и сборы за пользованіе набережными, а также стоимость выгрузки, такъ какъ она уплачивается всегда владѣльцами судовъ.

### 3. Пенартъ (Penarth).

Портъ Пенартъ черт. 10 листъ 4 расположенъ недалеко отъ Кардиффа при устьѣ рѣки Елу и служитъ главнымъ образомъ для вывоза каменнаго угля.

Портъ этотъ лежитъ частью на рѣкѣ, частью выконанъ, приливными гаванями. Главный докъ имѣетъ въ длину 885 метр. и въ ширину отъ 46 до 113 метровъ.

Докъ въ послѣднее время удлинень на 240 метровъ и въ немъ

оставлено 14 мѣстъ для устройства угледоѣемовъ, изъ коихъ 11 уже поставлены и въ дѣйствиіи.

Это портовое устройство было въ началѣ исполнено особымъ обществомъ, въ послѣднее же время оно перешло въ вѣденіе Taff Vale желѣзнодорожнаго общества.

Прежніе, лежащіе въ рѣкѣ, угледоѣемы не представляютъ особаго интереса. Новые же даютъ за то ясное понятіе о хорошо устроенныхъ подобныхъ приспособленіяхъ.

### *Общее расположеніе путей.* Черт. 11. Листъ 4.

I и II суть главные пути высокаго уровня, I для подачи груженыхъ вагоновъ, II для отката опорожненныхъ. Отъ главнаго пути I идутъ по два грузовыхъ пути къ каждому угледоѣему, для стоянки груженыхъ вагоновъ, которые передъ угледоѣемомъ сводятся въ одинъ путь къ поворотнымъ кругамъ *B*, передъ которыми расположены вѣсовые помосты. Пути III и IV идутъ до вѣсоваго помоста, съ такимъ уклономъ черт. 12, что отцѣвленные вагоны почти самокатомъ подходятъ къ вѣсамъ и поворотнымъ кругамъ. Такимъ же образомъ путь отъ поворотнаго круга къ угледоѣему имѣетъ уклонъ, а также и путь *A*, ведущій отъ угледоѣема къ поворотному кругу, для порожнихъ вагоновъ, имѣетъ уклонъ отъ угледоѣема. Путь *V* за поворотнымъ кругомъ, имѣетъ такой уклонъ, чтобы опорожненные вагоны самокатомъ откатывались отъ поворотнаго круга.

Откатанные порожніе вагоны собираютъ на горизонтальномъ участкѣ этого пути и паровозомъ, партіями, отводятся на боковой путь специально для нихъ назначаемый, откуда они далѣе передвигаются къ складамъ для новой нагрузки.

Такъ какъ оба пути отъ угледоѣема, считая отъ оси поворота стрѣлки, имѣютъ уклоны въ разныя стороны, черт. 13, то въ точкѣ *M* путь для отвода вагоновъ лежитъ всегда на 0,2 метр. ниже пути для подачи нагруженныхъ вагоновъ. Среднія рельсы поэтому не могутъ пересѣкаться обыкновенной крестовиной; ниже лежащій рельсъ идетъ поэтому непрерывно, другой же, лежащій на 0,2 метр. выше, проводится надъ нижнимъ рельсомъ вставною поворотною частью *ab* надъ точкою *M*.

Пути VI и VII, черт. 11, лежатъ на 5,5 метр. ниже основанія угледоѣема и служатъ для приѣма мелкаго угля.

Общее устройство работает здѣсь вполне хорошо и целесообразно.

На углеподъемѣ находится всего два человѣка прилуги: одинъ для управленія гидравлическими прессами, другой, для установки стрѣлокъ, необходимой для самоката вагоновъ.

Всего, такимъ образомъ, при углеподъемахъ въ Пенартѣ работаетъ три человѣка: одинъ при рычагахъ углеподъема, одинъ для подачи вагоновъ и одинъ на платформѣ углеподъема, для открытія добовой стѣнки вагона и регулированія высыпки угля изъ вагона въ желобъ. Въ общемъ, слѣдовательно, однимъ человѣкомъ меньше, чѣмъ въ Кардиффѣ, гдѣ при подачѣ вагоновъ работаетъ 2 человѣка.

Есть возможность ускорить работу, производя, одновременно съ отводомъ порожнихъ вагоновъ, поворотъ на кругѣ груженаго вагона, для подачи его немедленно на углеподъемъ.

#### *Углеподъемы съ противовѣсами.* Черт. 14. Листъ 4.

Углеподъемъ дѣйствуетъ собственно напоромъ воды, но уравновѣшанъ противовѣсами.

Платформа, къ которой груженые вагоны подходятъ, двигаясь по рельсовымъ путямъ высокаго уровня, направляется при подъемѣ четырьмя стойками станины углеподъема. Она подвѣшана на 4-хъ проволочныхъ, перекинутыхъ черезъ шкивы, канатахъ, къ свободнымъ концамъ которыхъ подвѣшаны противовѣсы.

Эти противовѣсы такъ рассчитаны, чтобы при освобожденіи тормазовъ, помѣщенныхъ на шкивахъ, *груженный* вагонъ вмѣстѣ съ платформою отъ собственнаго вѣса опускались, а платформа съ *порожнимъ* вагономъ поднималась.

Въ Пенартѣ доки не снабжаются прѣсною водою изъ рѣки, какъ въ Кардиффѣ, въ виду сего уровень воды въ докѣ зависитъ отъ высоты прилива въ данный день.

По установкѣ вагона на платформѣ, смотря по положенію уровня воды и палубы судна, платформу: или соответственно опускаютъ, причемъ задній край подвижной части ея удерживаютъ для придачія вагону уклона, необходимаго для высыпки угля, или, при высокой водѣ и при большихъ корабляхъ, задній край подвижной части платформы поднимаютъ гидравлическимъ прессомъ, который для этой цѣли помѣщается на углеподъемѣ.

При среднемъ уровнѣ воды и при судахъ среднихъ размѣровъ,

платформу сначала опускают на столько, чтобы она стала соответственно положению желоба, послѣ чего дѣйствуютъ гидравлическимъ прессомъ, и этимъ наклоняютъ вагонъ для высыпки угля. Необходимое укороченіе подвѣсной цѣпи при гидравлическомъ прессѣ достигается ручною лебедкою.

Верхній конецъ желоба, обращенный къ вагону, подвѣшанъ на двухъ цѣпяхъ, намотанныхъ на два барабана лебедокъ, расположенныхъ на верхней площадкѣ углеподъема, лебедки эти снабжены тормозамъ для опусканія желоба.

Цѣпи, идущія отъ нижняго конца желоба (обращеннаго къ кораблю), проведены по блокамъ къ ручной лебедкѣ, поставленной также на верхней платформѣ углеподъема. Желобъ снабженъ рѣшеткою для отдѣленія мелкаго угля, а также дверцамъ для управленія скатываніемъ по желобу угля. Дверцами желоба управляютъ также съ берега.

Для предупрежденія измельченія угля при началѣ грузки его, помещенъ здѣсь кранъ съ бадьею, дѣйствующій гидравлическимъ прессомъ и поллестастомъ.

Такъ какъ весь углеподъемъ деревянный, то онъ покрытъ крышею и обшитъ досками.

#### 4) Ньюпортъ.

Въ Ньюпортѣ на рѣкѣ Аскѣ (Usk), въ докѣ открытомъ въ 1875 году, имѣются общирныя приспособленія для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ.

*Гидравлическіе углеподъемы* Черт. 15. Листъ 5.

Установленные здѣсь 8 гидравлическихъ углеподъемовъ, исполнены всѣ на заводѣ Армстронга-Митчеля и Комп. и совершенно сходны съ приборомъ, поставленнымъ въ Кардиффѣ, описаннымъ выше.

Главные размѣры ихъ слѣдующіе.

Высота башни углеподъема:

При подъемахъ №№ 1 до 6. . . . . 12,5 метр.

„ „ №№ 7 и 8. . . . . 13,1 „

Наибольшая высота подъема груженыхъ вагоновъ.

При подъемахъ №№ 1 до 6. . . . . 7,62 „

„ „ №№ 7 и 8. . . . . 8,24 „

Диаметръ подъемнаго ныряла . . . . .	0,32 метр.
Диаметръ ныряла при прессѣ для накло- ненія вагона . . . . .	0,23 "
Высота подъема вагона . . . . .	2,9 "
Давленіе воды въ трубахъ . . . . .	57 атм.

При углеподъемахъ №№ 7 и 8 нѣтъ набережныхъ, почему они выдвинуты и соединены съ берегомъ мостамъ; расположеніе ихъ другъ относительно друга таково, что даютъ возможность грузиться двумъ судамъ большой длины, какъ это видно на чертежѣ 15 \*).

### *Расположеніе рельсовыхъ путей.*

Въ расположеніи рельсовыхъ путей замѣчается значительное отступленіе отъ расположенія ихъ въ Кардиффѣ.

Главные пути, грузовые для подачи вагоновъ и откатные, а также пути, по которымъ вагоны подаются на углеподъемъ, лежатъ, какъ пути желѣзной дороги South-Western въ Кардиффѣ, въ уровнѣ набережной.

Къ каждому углеподъему подведенъ путь съ уклономъ 1:83 и длиною въ 150 метр. отъ грузовыхъ путей (для возможности перемѣшиванія нагружаемаго на судна угля), который однимъ концомъ связанъ съ главнымъ путемъ, а другимъ подходитъ къ углеподъему и связанъ, передъ вѣсовымъ помостомъ, съ путемъ для подачи груженыхъ вагоновъ къ углеподъему, по которому, прямо съ главнаго пути, подаются также груженые вагоны.

\*) Въ Пенартѣ также (см. черт. 10 и 11. Листъ 4) совсѣмъ не имѣется сплошной набережной, а берегъ обдѣланъ откосомъ, и всѣ углеподъемы устроены на отдѣльныхъ каменныхъ выступахъ. Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что и тамъ, гдѣ имѣется сплошная набережная, безъ выступовъ, какъ напримѣръ въ Кардиффѣ, суда, грузящіяся у постоянныхъ углеподъемовъ, обыкновенно устанавливаются не параллельно набережной, а подъ нѣкоторымъ къ ней угломъ, такъ что концы двухъ смежныхъ судовъ заходятъ другъ за друга. Этимъ объясняется, почему углеподъемы устроены ближе другъ къ другу, чѣмъ требовалось бы по длинѣ судовъ.

Въ описанныхъ здѣсь докахъ разстоянія между постоянными углеподъемами слѣдующія:

Въ Кардиффѣ, въ Западномъ докѣ . . . . .	130—150 фут.
„ „ „ Восточномъ докѣ . . . . .	180—240 „
„ „ „ Roath bassin'ѣ . . . . .	170—200 „
„ Пенартѣ . . . . .	200 „
„ Ньюпортѣ, въ Alexandra-dock'ѣ . . . . .	200 „

Съ этого пути вагоны, при помощи гидравлическаго кабестана, установленнаго возлѣ угленодъема и посредствомъ поворотнаго круга, подаются къ платформѣ угленодъема, поднимаются и наклоняются давленіемъ воды, послѣ опоражниванія спускаются, не до поверхности набережной, а лишь до отводнаго пути расположеннаго на высотѣ 4,8 метр. надъ поверхностью набережной, *fg*, который имѣеть уклонъ въ 1:66 отъ угленодъема на протяженіи 170 метр., такъ что вагоны самокатомъ, безъ посторонней помощи, откатываются.

Если путь заполненъ порожними вагонами, то сіи послѣдніе отводятся небольшимъ паровозомъ.

Пути *hi* лежащіе въ уровнѣ набережной, служатъ для пріема мелкаго угля.

### *Личный составъ при угленодѣемѣ.*

Для управленія каждымъ угленодѣемомъ необходимо 4 человекъ.

Одинъ для подачи вагона на пути съ уклономъ въ 1:83; онъ же управляетъ тормазомъ вагона на вѣсовомъ помостѣ, записываетъ № вагона и вѣсъ его.

Одинъ для управленія гидравлическими кабестанами, для подтягиванія вагоновъ на поворотный кругъ, поворачиванія круга и подачи вагона на платформу угленодъема.

Одинъ для утвержденія вагона на платформѣ, при его подъемѣ, для открытія лобовой стѣнки вагона и для соскребыванія угля съ вагона, укрѣпленія снова стѣнки вагона, освобожденія вагона отъ платформы и отталкиванія вагона на отводной путь высокаго уровня.

Одинъ для управленія гидравлическими прессами угленодъема и крана, который долженъ находиться наверху, откуда хорошо видна какъ подача вагоновъ, такъ и грузка угля въ люкъ судна.

Для разсыпки угля въ трюмъ судна, а также для открыванія и запиранія дверей желоба, для опоражниванія бады крана, необходимо еще 6 человекъ, которые напмаются поденно.

При управленіи угленодѣемомъ четырьмя людьми, возможно разгрузить одинъ вагонъ въ 10 тоннъ въ теченіи двухъ минутъ, а въ 1 часъ можно выгрузить до 300 тоннъ, но такъ какъ разсыпку угля въ трюмъ невозможно вести одинаково скоро, и такъ какъ при большихъ корабляхъ, имѣющихъ до четырехъ люковъ, необходимо нѣкоторое время для передвиженія судна при установкѣ люка подъ желобъ угленодъема,

то требуется для нагрузки одного судна вместимостью въ 1,200—1,500 тоннъ, 12 часовъ времени, а въ 2,300 тоннъ до 18 часовъ времени \*).

Въ 1888 году устанавливался еще одинъ, девятый, *подвижной* углеподъемъ особаго устройства.

Въ августѣ 1885 г. перегружено было въ Александра — докъ въ Ньюпортѣ, восемью углеподъемами 204,648 тоннъ угля.

Что въ рабочій день на каждый углеподъемъ составляетъ

$$\frac{204.648}{25 \times 8} = 1.023 \text{ тоннъ **)}$$

или свыше 100 вагоновъ.

Общее устройство этихъ приспособленій можетъ вообще служить хорошимъ образцомъ.

Вслѣдствіе отвода вагоновъ самокатомъ, безъ ихъ поворота, выпрывается значительно во времени и въ то время, когда откатывается одинъ вагонъ, слѣдующій груженный можетъ быть уже повернуть на кругъ и установленъ противъ пути платформы, которая немедленно можетъ его принять.

Это расположеніе примѣнено по этому во многихъ другихъ мѣстахъ Англій, для чего необходимо однако довольно широкая нортвая площадь, для поворота откатныхъ путей.

### *Остальные, давленіемъ воды, дѣйствующіе приборы.*

Въ Alexandra dock'ѣ въ Ньюпортѣ, кромѣ приведенныхъ восьми углеподъемовъ и кабестоновъ, имѣются еще слѣдующіе механизмы приводимые въ дѣйствіе водою:

- 7 штукъ подвижныхъ поворотныхъ крановъ въ 2 тонны каждый.
- 2 такихъ же крана . . . . . " 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> тонна "
- 2 " " " . . . . . " 3 " "
- 4 большіе кабестона на шлюзахъ, служащіе для втягиванія судовъ и приборъ для выгрузки вагоновъ, расположенный у котельнаго зданія при аккумуляторѣ.

\*) О личномъ составѣ для дѣйствія углеподъемовъ и о скорости работы углеподъема смотри выше.

\*\*) По воскресеньямъ не работаютъ даже тамъ гдѣ есть ночная работа.

Все это приводится въ дѣйствіе четырьмя паровыми машинами въ 150, 120 и двѣ въ 80 *и. л.* каждая.

### *Портовые сборы.*

Различные установленные въ этомъ портѣ сборы, почти всѣ одинаковы съ существующими въ Кардиффѣ.

За пользованіе набережными взимается обоими доковыми обществами по 5,25 коп. за тонну.

За пользованіе гидравлическими угледоѣмами взимается въ Alexandra dock'ѣ 5,25 к., а въ старомъ докѣ 6,17 к. за тонну угля.

Вѣсовые сборы составляютъ 0,62 коп. за то-же количество угля.

## 5) Сванси.

Портовые устройства въ Сванси, на Бристольскомъ каналѣ, служація для вывоза угля изъ Южнаго Валлпса, въ послѣднее время значительно расширены, устройствомъ доковъ Принца Валлійскаго съ обширѣйшими приспособленіями для выгрузки каменнаго угля.

Докъ этотъ, черт. 16 листъ 5, занимаетъ водную площадь въ 20,430 кв. саж., длиною 705 метр. и шириною въ 110 метр. въ среднемъ. Одна длинная сторона его почти исключительно предоставлена для выгрузки угля, здѣсь помѣщены шесть гидравлическихъ угледоѣма, исполненные заводомъ Армстронга-Митчель и въ общемъ такого же устройства, какъ въ портахъ Кардиффѣ и Ньюпортѣ.

Для подачи груженыхъ и отката порожнихъ вагоновъ сдѣлано такое же устройство какъ въ Ньюпортѣ.

Путь для отката вагоновъ лежитъ на 5,5 метр. выше площади набережной и его уклонъ, до соединенія съ главнымъ путемъ, 1:50 и 1:80, тогда какъ путь для подачи груженыхъ вагоновъ, имѣетъ уклонъ въ 1:100.

Гидравлическіе угледоѣмы имѣютъ наибольшую высоту подъема въ 8,3 метр. надъ поверхностью набережной. Уровень воды въ докѣ лежитъ обыкновенно на 2,4 метр. ниже края набережной. При большихъ судахъ, когда высота подъема вагона недостаточна, есть возможность спустить уровень воды изъ дока. Для слѣдующихъ, предназначаемыхъ къ установкѣ угледоѣмовъ, имѣется однако въ виду, высоту подъема платформы увеличить на 3 метра. Каждый угле-

подъемъ снабженъ двумя гидравлическими прессами, діаметры ныряль которыхъ 0,23 и 0,14 метр. Малый прессъ находится, при спускѣ платформы, подъ давленіемъ воды и при этомъ уравниваетъ вѣсъ платформы, причемъ сберегается количество воды, содержащееся въ маломъ прессѣ.

Діаметръ ныряля пресса для наклоненія вагона 0,23 метр. давленіе воды въ трубахъ 55 атмосферъ.

Стоимость такого углеподъема вмѣстѣ съ краномъ и кабестаномъ доходить до 25.500 метал. рублей.

### *Портовые сборы.*

Смотря по величинѣ судна и по мѣсту ихъ назначенія, за псключеніемъ тѣхъ, которыя входятъ съ балластомъ и не остаются въ гавани болѣе 14 дней, взимается за каждую регистертонну отъ 10,19 до 38,59 коп. за суда которые входятъ съ балластомъ и остаются менѣе 14 дней, взимаются отъ 7,72 до 25,92 коп. за регистертонну, съ такими же подраздѣленіями и измѣненіями размѣра сбора, какъ въ Кардиффѣ.

За пользованіе набережными взимается по 4,01 коп. за тонну нагруженнаго угля.

Особые сборы для пользованія гидравлическими углеподъемами не взимаются, они включены въ желѣзнодорожныхъ тарифахъ.

Сборы за разсыпку товара въ трюмахъ:

- а) для угля, нагружаемаго въ угольные ящики . 18,83 коп.
- б) для прочаго угля, съ пароходовъ . . . . . 9,27 „
- „ „ „ „ парусныхъ . . . . . 8,34 „

Балластные сборы, смотря по величинѣ судна и способу выгрузки, составляютъ отъ 17,91 до 36,12 коп. за тонну выгруженнаго балласта, когда выгрузка производится въ портѣ пзъ судна въ судно. Когда же эта нагрузка производится въ лихтеръ съ отвозкою въ сторону, то взимается по 61,74 коп. за тоже количество выгруженнаго балласта.

### *Цѣны угля.*

Хорошій экспортный уголь доставленный на бортъ судна, стоитъ 293,27 коп. тонна; къ этому слѣдуетъ еще прибавить 4,01 коп. за пользованіе набережными, которое унлачивается владѣльцемъ судна.

Въ приведенной общей цѣнѣ угля включается стоимость доставки его изъ копей на разстояніи 48 километровъ, каковая стоимость составляетъ 71,93 коп. за тонну.

## 6) Ливерпуль.

Приспособленія для грузки каменнаго угля въ Ливерпуль далеко не такъ значительны, какъ слѣдовало бы ожидать, для этого важнаго для Англійской торговли порта.

Весьма интересны однако приспособленія устроенныя въ докѣ Bramley Moorg.

Ранѣе устроенные приспособленія описаны подробно въ отчетѣ Бухгейстера \*), однако съ тѣхъ поръ отпускъ угля значительно увеличился и для грузки его поставлены вновь на узкой сторонѣ доковъ Брамлей и Веллингтонъ, по 2 гидравлическихъ поворотныхъ крана и на длинной сторонѣ Брамлей дока, 5 гидравлическихъ крановъ.

Здѣсь необходимо было распорядиться такъ, чтобы при ограниченности мѣста поставить такія приспособленія, которыя дали бы относительно лучшую работу, а потому нельзя было поставить такіе углеподъемы, какіе поставлены въ Кардиффъ, Ньюпортъ и Сванси, которыя требуютъ значительной портовой площади.

Общее устройство здѣсь слѣдующее.

Пути для подачи вагоновъ, лежатъ въ непосредственномъ соединеніи съ желѣзною дорогою высокаго уровня, Lancashire-Yorkshire, лежащей на высотѣ 7,3 метр. выше площади набережной, черт. 17 листъ 5. Четыре параллельные грузовые пути лежатъ на каменныхъ столбахъ, на которыхъ положены балки, покрытыя волнистымъ желѣзомъ, подъ которыми находится помѣщеніе для механизмовъ. Черт. 18 листъ 5.

### *Гидравлическій поворотный кранъ.*

На набережной дока поставлены 5 гидравлическихъ поворотныхъ крановъ, каждый въ 24 тонна, съ вылетами въ 10,7 метр., въ разстояніи 53 метр. другъ отъ друга. Управление кранами производится

---

\*) Reisebericht über die hauptsächlichsten Kohlenhäfen Grossbritanniens von Bucheister.

съ верхнихъ рельсовъ, тогда какъ горизонтально расположенные прессы помѣщаются подъ ними.

Для приема вагоновъ служатъ платформы, устроенныя изъ фасоннаго желѣза, которыя помѣщаются въ соответствующихъ углубленіяхъ поверхности набережной, на пути, черт. 19. Стѣна набережной противъ этого мѣста соответственно уширена. Платформа эта подвѣшана на четырехъ цѣпяхъ, прикрѣпленныхъ къ желѣзной балкѣ, подвѣшанной въ свою очередь къ крюку подъемной цѣпи крана.

При поднятіи, платформа, вслѣдствіе неодинаковой длины цѣпей, становится наклонно такъ, что переднія колеса вагона опираются въ изогнутые концы рельсовъ, чѣмъ достигается устойчивое его положеніе.

Опорожніваніе вагона совершается открываніемъ створчатой лобовой стѣнки его, или вагоны дѣлаются иногда со створчатыми днищами.

Для болѣе безопасной установки вагона на платформѣ и болѣе надежнаго его укрѣпленія, служить цѣпь, которая, спускаясь отъ крана, проходитъ черезъ блокъ прикрѣпленный къ платформѣ и конецъ которой прикрѣпляется къ задней части вагона за крюкъ. При этомъ потягивая за эту цѣпь вагонъ болѣе наклоняется для ссыпки угля, и вмѣстѣ съ тѣмъ прижимается къ платформѣ.

Для того чтобы при движеніи платформы съ находящимся на ней вагономъ, при поворотѣ крана, платформа не раскачивалась и приняла положеніе, требуемое для удобной высыпки угля, къ платформѣ прикрѣплена небольшая ручная цѣпь, управляемая однимъ рабочимъ. Поднятый съ платформою вагонъ, опускается надъ люкомъ трюма какъ можно ниже и опорожняется: или болѣшимъ наклопеніемъ его, и открываніемъ лобовой его стѣнки, или же открываніемъ днищевыхъ затворовъ кузова вагона. Послѣ опорожніванія вагона, его опять поднимаютъ и устанавливаютъ снова, вмѣстѣ съ платформою, на путь поворотнаго крана и откатываютъ на запасный путь.

Независимо отъ сего, въ Ливерпулѣ примѣняется, хотя въ небольшомъ размѣрѣ, нагрузка угля съ ящковъ, которые установленны на желѣзнодорожныхъ платформахъ, подаются къ краю набережной. Ящики эти снабжены днищевыми клапанами и вмѣщаютъ отъ 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> до 2 тоннъ угля; ихъ располагаютъ всего 3 на одной платформѣ. Поднятіе и опусканіе ящичковъ надъ люкомъ трюма, для выгрузки угля, совершается цѣпью подъемнаго крана, служащей для наклоне-

нія вагона. Главная подъемная цѣпь крана, для этого незначительнаго груза, не употребляется.

### *Расположеніе и эксплуатация грузовыхъ путей.*

Расположеніе грузовыхъ путей для выгрузки угля, устроенныхъ въ 1884 году, показано на черт. 17 листъ 5.

Назначеніе, отдѣльно показанныхъ путей, слѣдующее:

Путь, лежащій ближе всего къ краю набережной, *a*, служитъ запаснымъ путемъ и для установки вагоновъ, принимающихъ мелкій уголь; 3 слѣдующіе затѣмъ пути *b*, *c* и *d* служатъ: два для установки груженыхъ вагоновъ, а третій для отвода опорожненныхъ. Эти пути связаны между собою и съ главнымъ путемъ стрѣлками такъ, чтобы можно было ими пользоваться безразлично, какъ для подачи, такъ и для отката порожнихъ вагоновъ.

Уложенные пути связаны кромѣ того, у каждаго крана, между собою, системою поперечныхъ путей и поворотныхъ круговъ.

Эти послѣдніе пути, уложенные перпендикулярно къ набережной, имѣютъ на концахъ своихъ углубленія для помѣщенія платформъ, на которыхъ устанавливаются груженые вагоны, или желѣзнодорожныя платформы съ груженымъ углемъ ящиками, черт. 20 листъ 5.

Этимъ приспособленіемъ выгрузка угля производится слѣдующимъ образомъ:

Груженые вагоны стоятъ на двухъ изъ путей *b*, *c*, *d*, черт. 17 листъ 5. Двумя рабочими, у каждаго крана, вагоны поочередно подаются на поворотный кругъ поперечнаго пути и на немъ поворачиваются и подвигаются къ краю набережной, гдѣ устанавливаются на платформѣ. Все это передвиженіе вагона и поворотъ круга совершается при помощи кабестана *f*, отводнаго блока *t* и каната.

Работа эта требуетъ  $2\frac{1}{2}$  минуты времени. Слѣдующіе затѣмъ: поднятіе платформы, поворотъ крана, высыпка угля и обратная установка платформы съ вагономъ на свое мѣсто на набережной, требуетъ 2 минуты; затѣмъ: отводъ вагона назадъ на свободный путь, запираніе лобовой стѣнки и откатъ вагона, требуетъ всего  $2\frac{1}{4}$  минуты времени, такъ что вся операція требуетъ  $6\frac{3}{4}$  минуты времени; при этомъ надо замѣтить, что опорожниваніе вагона черезъ лобовую съемную стѣнку, занимающую лишь  $\frac{3}{4}$  высоты кузова вагона, бываетъ весьма медленно, ибо уголь часто забивается и не вываливается

изъ вагона безъ посторонней помощи. Время, потребное при такомъ способѣ выгрузки угля, довольно значительно, въ сравненіе съ временемъ для дѣйствія углеподъемовъ, устроенныхъ въ Ньюпортѣ и Кардиффѣ.

Подача груженыхъ и отводъ опорожненныхъ вагоновъ, происходитъ здѣсь на путяхъ съ весьма крутыми закругленіями, при помощи небольшого паровоза-тендера въ 15 тоннъ и разстояніемъ между колесами отъ 2 до 2,2 метра.

Слѣдуетъ еще упомянуть, что установленные въ послѣднее время 5 гидравлическихъ крановъ на длинной сторонѣ Branley Moore дока, съ приналежащими къ нимъ: паровою машиною и аккумуляторомъ и прочими принадлежностями, изготовлены на заводѣ Армстронга въ Ньюкэстлѣ, тогда какъ, находящіяся тамъ-же, четыре прежніе крана, два на узкой сторонѣ того же дока и два на Wellington докѣ, изготовлены на заводѣ „Hydraulic Engineering Company“ въ Честерѣ.

### 7) Биркенхэдъ.

Въ обширныхъ доковыхъ устройствахъ Биркенхеда, расположенныхъ на р. Мерзей противъ Ливерпуля, бассейнъ West Float отведенъ для грузки угля и здѣсь поставлены три углеподъема системы Армстронга, черт. 21 ясть 6.

Съ путемъ для подачи вагоновъ къ углеподъемамъ, связана весьма значительная сѣтъ грузовыхъ путей, которые часто бываютъ заполнены гружеными вагонами. Передвиженіе вагоновъ совершается обыкновеннымъ способомъ, помощью кабестановъ и отводныхъ блоковъ.

Изъ имѣющихся здѣсь трехъ углеподъемовъ: два—старой установки въ деревянныхъ станинахъ, послѣдній же, недавно установленный, устроенъ весь желѣзный, такой же конструкціи какъ въ Кардиффѣ.

Старые углеподъемы имѣютъ каждый по одному гидравлическому прессу, нырля которыхъ служатъ, какъ для поднятія платформъ, такъ и для наклоненія подвижной части ея, каковыя операціи совершаются одна за другою слѣдующимъ образомъ: подъ платформу, черт. 22, поддерживаемую гидравлическимъ прессомъ, находятся два рычага *a*, которые при помощи шиповъ расположенныхъ почти противъ ихъ средины, прикрѣплены къ подъемной плат-

формѣ. При движеніи платформы вверхъ, рычаги эти передними своими концами упираются въ соответственно устроенные роликки, которые укрѣплены на поперечной балкѣ поддерживающей верхній конец желоба *b*. При дальѣйшемъ поднятіи платформы, передніе концы рычаговъ задерживаются этими роликками, вслѣдствіе чего происходитъ наклоненіе рычаговъ и поднятіе заднихъ концовъ ихъ; эти концы въ свою очередь распорками связаны съ заднимъ краемъ подвижной части платформы, которая, дѣйствіемъ распорокъ, также поднимается и наклоняясь высыпаетъ уголь изъ вагона, на ней поставленнаго.

### *Портовые сборы въ Ливерпуль и Биркенхэдъ.*

а) Общій тонновой сборъ (dock tonnage rates). Смотря по мѣсту прихода и по мѣсту назначенія, за каждую регистеръ-тонну взимается отъ 6,48 до 37,84 копѣйки—большій размѣръ за болѣе далекія рейсы.

Суда, входящія въ Биркенхэдъ съ балластомъ и грузящіяся только углемъ и другими громоздкими товарами (железомъ, рельсами и проч.) уплачиваютъ половину вышеприведеннаго сбора, въ докахъ Wellington, Bramley-Moore, West-Float и Wallasey.

б) Особые портовые сборы (Harbour rates) взимаются, смотря по мѣсту назначенія и прихода, отъ 0,93 до 5,25 коп., кромѣ того взимается за пользованіе набережными (Warf rates) отъ 1,54 до 10,81 коп. за каждую регистеръ-тонну.

в) За нагрузку судовъ углемъ, установлены въ докахъ Брамлей-Муръ и Веллингтонъ слѣдующіе сборы съ тонны погружаемаго угля:

Для вывознаго угля:

1) за пользованіе желѣзною дорогою высокаго уровня (прибавляемый къ тарифу жел. дороги) . . .	5,25 коп.
2) за пользованіе докомъ и городскіе сборы . . .	3,70 „
	<hr/>
вмѣстѣ . . .	8,95 коп.

Для нагрузки угля собственнаго потребленія, взимается лишь за пользованіе желѣзною дорогою высокаго уровня 5,25 коп.; въ пользу же города и за пользованіе набережной и докомъ, кромѣ общихъ портовыхъ сборовъ, ничего не взимается;

Если однако этотъ уголь приходится грузить черезъ горловины

или подобныя малыя отверстія въ палубахъ судовъ, то взимается въ пользу желѣзной дороги высокаго уровня 5,25 и портовымъ управленіемъ 10,19 коп. за каждую тонну угля.

За пользованіе угольнымъ краномъ для выгрузки балласта и другихъ тяжелыхъ товаровъ, считаютъ за одинъ подъемъ тяжести до 10 тоннъ 617,42 коп. для тяжести же отъ 10 до 19 тоннъ 1080,53 коп., за то корабли, нагружаемые углемъ съ желѣзной дороги высокаго уровня, могутъ пользоваться кранами, если они не заняты другими работами, для выгрузки балласта и для нагрузки товаровъ, уплачивая по 231,53 коп. въ часъ.

Для Биркепхэда установлены для грузки угля слѣдующіе сборы:	
за нагрузку при помощи гидравлическаго углеподъема, включая и работу по подачѣ и откату вагоновъ и разсыпкѣ угля въ трюмъ судна, а также за нагрузку 10% краномъ при углеподъемѣ, за каждую тонну угля . . . . .	12,97 коп.
за нагрузку угля для собственного потребленія, сквозь лазы или малыя отверстія на палубѣ . . . . .	30,87 „
за выгрузку этого угля въ лихтера . . . . .	7,72 „
тоже въ лихтеръ при помощи балластнаго крана . . . . .	15,44 „
за нагрузку этого же угля балластнымъ краномъ въ большія суда, въ количествѣ до 10% всего груза . . . . .	15,44 „
для большихъ количествъ . . . . .	20,68 „
тоже, сквозь лазы . . . . .	30,87 „
вѣсовыя сборы . . . . .	1,23 „

Для кокса, сборы вообще въ полтора раза больше обыкновенныхъ сборовъ.

Цѣна вывознаго угля, для паровыхъ котловъ, въ Ливерпуль, поставленнаго у борта судна на набережной, составляетъ для обыкновеннаго угля, на тонну . . . . .	240,979 коп.
для угля лучшаго сорта . . . . .	271,66 „

Въ этихъ цѣнахъ включается отъ 7,72 до 15,44 коп. за прокатъ вагоновъ; отъ 30,87 до 56,90 коп. за провозъ по желѣзной дорогѣ и 3,69 коп. портовыхъ расходовъ.

Стоимость разсыпки угля въ трюмъ судна, въ приведенныхъ цѣнахъ, не включается.

Для нагрузки угля въ ящикахъ, особыхъ противу приведенныхъ выше сборовъ не взимается.

## 8) Гарстонъ.

Въ Гарстонѣ, не далеко отъ Ливерпуля на р. Мерзей, находится небольшое портовое устройство, специально назначаемое для нагрузки судовъ каменнымъ углемъ, черт. 23 листъ 6.

Пути для подачи груженыхъ вагоновъ и для стоянки ихъ (грузовые пути) лежатъ около 5 метровъ выше поверхности набережной, такъ что возможно было здѣсь примѣнить углеподъемы съ противовѣсами, какъ это устроено въ Пенартѣ.

Пути для подачи вагоновъ къ углеподъему, подняты эстакадою выше путей на набережной и проходящихъ здѣсь улицъ. Путь для груженыхъ вагоновъ соединенъ съ путемъ, ведущимъ къ углеподъему, стрѣлкою.

Поворотный кругъ, расположенный между углеподъемомъ и стрѣлкою, служитъ лишь для поворота тѣхъ вагоновъ, съемная лобовая стѣнка которыхъ не повернута къ кораблю.

Передвиженіе и подача вагоновъ совершаются помощью кабестановъ.

Углеподъемъ работаетъ замѣчательно хорошо. Подача вагона, и опорожнваніе его требуетъ всего 1 минуту времени, отдача его  $\frac{1}{2}$  минуты, такъ что полная операція опорожнванія одного вагона, требуетъ всего  $1\frac{1}{2}$  минуты времени.

Уголь, выгружаемый здѣсь, особенно твердой породы—близко подходящій къ аптрапту, такъ что на предупрежденіе его измельченія не было здѣсь вовсе обращено вниманія.

## 9) Глазго.

### *Портовьяя устройства на р. Кляйдъ.*

Старѣйшія, описанныя у Бухгейстера приспособленія для выгрузки каменнаго угля, находятся на р. Кляйдѣ, черт. 24 листъ 6.

Система грузовыхъ путей для установки груженыхъ угольныхъ вагоновъ, расположена перпендикулярно къ набережной и связана поворотными кругами съ путемъ идущимъ параллельно краю набережной. Опорожнваніе вагоновъ совершается при помощи, установленныхъ на набережной, поворотныхъ варовыхъ крановъ, которые расположены между этимъ путемъ и краемъ набережной, на самомъ кордонѣ.

Груженный вагонъ подводится къ крану съ грузоваго пути и при помощи поворотнаго круга устанавливается на платформѣ съ изогнутыми концами рельсовъ, расположенной въ углубленіи особаго глухого пути (что сдѣлано противъ каждаго крана).

Опорожнваніе затѣмъ вагона, поднятіемъ его вмѣстѣ съ платформою, совершается также, какъ было описано выше, въ докѣ Брамлей въ Ливерпулѣ.

Послѣ опорожнванія вагона, его опять устанавливаютъ на набережной и отводятъ на путь, параллельный краю ея, для чего поворотнымъ кругомъ, расположеннымъ у крана, вагонъ сначала поворачиваютъ, и отводя его по пути, идущему параллельно набережной, отводятъ окончательно на откатный путь, особымъ поворотнымъ кругомъ; эти послѣдніе круги располагаются по одному между кранами.

Всѣдствие небольшой высоты подъема крановъ п измѣняющагося уровня воды на р. Кляйдѣ, здѣсь возможно грузить лишь небольшія суда.

### *Приспособленія для нагрузки судовъ углемъ въ Queens dock.*

Для нагрузки большихъ судовъ пользуются давво устроеннымъ бассейномъ „Queens dock“, расположенномъ на правомъ берегу р. Кляйда.

При устройствѣ этого дока, принята для грузки каменнаго угля въ общемъ та же идея, которая служила основаніемъ къ прежнему устройству. Расположеніе же крановъ п путей здѣсь иное. Въ зависмости отъ мѣстныхъ условій необходимо было расположить пути для подачи вагоновъ п грузовые пути параллельно краю набережной, почему необходимо было также утилизировать незначительную портовую площадь наилучшимъ образомъ. Черт. 25 листъ 7.

Отъ главнаго пути I и II, съ которымъ связаны грузовые пути, уложенные внѣ портовой площади, на участкахъ товарныхъ станцій желѣзныхъ дорогъ North-British и Caledonia, вагоны подаются къ путямъ крановъ 3, 4, 5, 6 п 7. Противъ каждаго крана пути оканчиваются тупикомъ, у которыхъ обыкновеннымъ порядкомъ расположены платформы для подъема вагоновъ, которыя тутъ поднимаются гидравлическими кранами, установленными на набережной, на особо устроенныхъ фундаментахъ.

Къ этимъ путямъ вагоны подтягиваются кабестанами п отводными блоками (Sp и R) п устанавливаются на платформахъ. Послѣ опо-

роживанія обыкновеннымъ вышеприведеннымъ способомъ, вагоны съ платформъ, опять же при помощи кабестановъ и блоковъ, отводятся на пути 3, 4, 5, 6 и 7, откуда далѣе удаляются на главныя пути I и II паровозомъ.

Управленіе и дѣйствіе кранами одинаково съ описанными выше въ Gramley докъ въ Ливерпулѣ, устройство ихъ такое же за исключеніемъ высоты основанія крана, которое здѣсь, вслѣдствіе условія расположенія путей на поверхности набережной, вовсе не поднято и кранъ установленъ непосредственно на набережной.

Всѣ краны здѣсь находящіяся, поставлены заводомъ Армстронга въ Ньюкэстлѣ.

### *Портовые сборы.*

а) Общіе судовые сборы составляютъ отъ 4,01 к. до 15,44 к. на регистертонну.

б) Особые портовые сборы за нагрузку, составляютъ за тонну угля 10,19 к.

в) За пользование царовымъ краномъ и портовыми желѣзнодорожными путями, на тонну угля 5,25 к.

г) За разсыпку, при нагрузкѣ въ лпхтеръ, за тонну угля 3,70 к.

д) Тоже, въ другіе суда, смотря по величинѣ ихъ, отъ 5,94 до 8,95 к.

е) Тоже, въ суда съ двумя палубами, 9,57 к.

ж) Для угля, собственнаго потребленія, нагружаемаго краномъ, за тонну 20,68 к.

Въ пунктѣ в приведенные сборы учитываются вмѣстѣ съ желѣзнодорожнымъ тарифомъ, который поэтому соотвѣтственно увеличенъ.

Желѣзнодорожныя ставки за 1 тонну угля для Глазго слѣдующія:

Дальность доставки въ километрахъ.	Въ вагонахъ при- надлежащихъ же- лѣзнымъ дорогамъ.	Въ вагонахъ при- надлежащихъ ка- менноугольнымъ копямъ.
11 . . . . .	43,84 коп.	36,74 коп.
18 . . . . .	56,18 "	46,31 "
22 . . . . .	61,74 "	50,32 "
26 . . . . .	66,99 "	54,03 "
32 . . . . .	77,18 "	62,97 "

Цѣна 1 тонны угля, постановленнаго на борть судна, слѣдующая:

а) обыкновеннаго угля (main) . . . . .	177,51	коп.
б) твердаго (splint) . . . . .	200,66	"
в) для домашняго употребленія . . . . .	отъ 200,66 до 216,10	"
г) лучшаго нароходнаго угля . . . . .	" 231,53 "	246,97 "

Фрахты для перевозки 1 тонны угля моремъ изъ Глазгау, включая портовые сборы и плату за разсыпку угля въ трюмахъ:

въ Геную . . . . .	262,40	коп.
" Ливорно . . . . .	277,84	"
" Венецію . . . . .	339,58	"
" Одессу . . . . .	262,40	"
" Бомбай . . . . .	463,11	"
" Яву . . . . .	432,19	"
" Мадеру . . . . .	246,97	"
" Рио-Жанейро . . . . .	524,81	"
" Балькутту . . . . .	463,11	"
" Лиссабонъ . . . . .	154,35	"
" Константинополь . . . . .	277,84	"

### Ю) Бонессъ (Bóness).

Бонессъ, или сокращенное Борроустаннессъ (Borrowstownness) есть одинъ изъ небольшихъ портовъ на морскомъ заливѣ Firth of Forth.

Портовые и доковыя устройства его принадлежать частью городу, частью Обществу North British желѣзной дороги, пути которой непосредственно связаны съ путями порта. Ввозъ составляетъ преимущественно: желѣзо, руда и лѣсъ, вывозъ — каменный уголь. Удаленность каменноугольныхъ копей отъ порта составляетъ отъ 16 до 50 километровъ, и наибольшее количество угля привозится изъ болѣе удаленныхъ копей. Портовые устройства окончены лишь въ недавнее время, причемъ приспособленія для грузки угля не особенно развиты, но они представляютъ однако большой интересъ въ виду возникшаго вопроса объ устройствѣ подобныхъ сооружений въ портахъ континента—если притомъ, при устройствѣ этихъ сооружений, будетъ признано предпочтительнымъ не устраивать сразу

обширныхъ сооружений, а пачать съ наиболѣе рациональныхъ сооружений, въ небольшихъ размѣрахъ.

Гидравлическія приспособленія, представляютъ далѣе особый интересъ въ томъ, что они поставлены не Армстронгомъ, а братьями Браунъ въ Эдинбургѣ и частью Обществомъ Hydraulic Engineer Company въ Честерѣ, а потому есть возможность произвести здѣсь необходимое сравненіе между углеподъемами различныхъ системъ и заводовъ.

*Общее расположеніе портовыхъ устройствъ и рельсовыхъ путей.* Черт. 26 листъ 7.

У дока, устроеннаго въ этомъ портѣ, расположены три углеподъема I, II и III. Изъ нихъ пути при подъемахъ I и II снабжены стрѣлками и крестовинами для соединенія съ грузовыми путями, что возможно было сдѣлать по мѣстнымъ условіямъ, при углеподъемѣ III нельзя было этого сдѣлать, а потому здѣсь поставлены, менѣе уснѣшно работающіе, поворотные круги.

При I и II пути *A* суть грузовые для груженыхъ вагоновъ, тогда какъ порожніе вагоны, отъ углеподъемовъ, отводятся въ группу путей *B*. Всѣ группы путей сводятся вмѣстѣ къ путямъ *ab* и *cd* откуда подаются груженные поѣзда къ путямъ *A* и откуда поѣзда, составляемые изъ пустыхъ вагоновъ, доставляются на станцію North-British жел. дор.

Передъ углеподъемами I и II расположены, на подходныхъ путяхъ, поворотные круги, которыми дѣйствуютъ кабестаномъ и канатомъ отъ вагона лишь тогда, когда вагоны снабжены одною съемною лобовою стѣнкою, и она не повернута падежащимъ образомъ къ углеподъему.

Одинъ изъ этихъ поворотныхъ круговъ, устроенъ непосредственно съ гидравлическимъ приводомъ, причемъ уложены два пресса, съ цѣпями и шкивами на оси поворота круга. Этотъ кругъ можетъ, кромѣ того, дѣйствіемъ воды въ вертикальномъ прессѣ, быть поставленъ нѣсколько наклонно къ углеподъему, чѣмъ облегчается скатываніе вагона къ углеподъему.

Для укрѣпленія круга въ устойчивомъ положеніи при его наклоненіи, на концахъ продольныхъ балокъ круга, возлѣ путевыхъ рельсовъ, помѣщены особые чугунные крюки, которые выступаютъ за

предѣлы окружности поворотнаго круга и упряются въ соотвѣтствующіе чугунные кулаки прѣкрѣпленные къ ограждающей стѣнкѣ, возлѣ путевыхъ рельсовъ. При горизонтальномъ положеніи круга, крюки и кулаки находятся въ такомъ положеніи другъ относительно друга, что не мѣшаютъ повороту круга.

Путь для отката вагоновъ, снабженъ стрѣлкою съ крестовиною и имѣетъ соотвѣтственный уклонъ отъ конца стрѣлки, для облегченія ската вагоновъ. Это сходно съ тѣмъ, что сдѣлано въ Пенартѣ; здѣсь пути у крестовины идутъ не въ одномъ уровнѣ, причемъ одинъ нерѣзанный рельсъ заполняется поворотною частью, устанавливаемою во время прохода вагона. Эта поворотная часть связана съ рычажнымъ приводомъ (съ противовѣсомъ) установленнымъ такимъ образомъ, что кривой рельсъ всегда свободенъ. Черт. 27. Нагруженный же вагонъ, идя отъ поворотнаго круга, нажимая рычагъ, устанавливаетъ самъ подвижную часть рельса на свое мѣсто. Послѣ прохода вагона, эта часть рельса, дѣйствіемъ противовѣса, снова принимаетъ первоначальное положеніе, открывая кривой рельсъ.

Точно также и перо стрѣлки, лежащее передъ углеподъемомъ, поставлено всегда на кривой путь; поэтому груженные вагоны, проходя всегда по одному направленію свободно проходятъ, отжимая стрѣлку, порожніе же вагоны направляются всегда на стрѣлку, а потому ни при стрѣлкѣ, ни при крестовинѣ не требуется особой прислуги.

Между крестовиною и стрѣлкою устроено приспособленіе для схода вагона съ пути, которое служитъ для предупрежденія столкновенія въ случаѣ нечаяннаго ската вагона до очисти пути передъ углеподъемомъ, а также для предупрежденія скатыванія этого вагона въ воду, если путь передъ углеподъемомъ свободенъ. Расположеніе кабестановъ и отводныхъ блоковъ для углеподъемовъ на длинной сторонѣ бассейна, къ которой вагоны подходятъ лишь при помощи поворотныхъ круговъ, показаны на чертежѣ 28 листъ 7.

При этомъ слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что вслѣдствіе движенія вагоновъ вдоль берега въ обѣ стороны, около каждаго углеподъема расположено по два кабестана.

Вагоны обыкновеннымъ порядкомъ, кабестаномъ (въ необходимыхъ случаяхъ при помощи отводнаго блока), передвигаются, поворачиваются и устанавливаются на углеподъемѣ и откатываются назадъ

послѣ опораживаніи, на одинъ изъ путей расположенныхъ параллельно берегу. При существованіи другого кабестана можно, во время отката порожняго вагона, одновременно подать новый нагруженный вагонъ.

Само собою разумѣется, что углеподъемы I и II, не смотря на это, работаютъ быстрѣе. Необходимое укрѣпленіе каната и другіе работы при поворотѣ круга, отнимаютъ слишкомъ много времени, и работа замедляется, а потому гдѣ это только возможно, пути подводятъ къ углеподъемамъ при помощи стрѣлокъ съ крестовинами.

### *Гидравлическій углеподъемъ системы Brown-Brothers.*

Три гидравлическіе углеподъема въ Бонессѣ поставлены всѣ Брауномъ изъ Эдинбурга и снабжены каждый двумя, съ боку расположенными, прессами, какъ это сдѣлано на углеподъемахъ въ Кардиффѣ. Черт. 4 листъ 2.

При этомъ для уменьшенія длины нырлять прессовъ, они сдѣланы двойными вдвигающимися другъ въ друга, на подобіе телескопа; діаметры ихъ 0,275 и 0,21 метр. При ихъ дѣйствіи выдвигаются сначала оба вмѣстѣ до полной высоты подъема широкаго (наружнаго) нырляла, послѣ чего начинаетъ выдвигаться внутреннее тонкое нырляло, далѣе, наклоненіе подвижной части платформы съ вагономъ достигается помѣщеннымъ подъ платформу, вращающимся на шипахъ, прессомъ, который для увеличиванія высоты подъема также устроенъ съ двойнымъ, на подобіе телескопа, нырляломъ. Діаметры сихъ нырляль 0,24 и 0,175 метр. Проводъ воды въ этотъ прессъ сдѣланъ сквозь полый шипъ, однако не такъ какъ при углеподъемахъ Армстронга, изъ пустого внутри нырляла главнаго большого пресса, а особою колѣчатую трубою, одинъ конецъ которой непосредственно связанъ съ напорною водопроводною трубою, а другой съ платформу. Труба эта составлена изъ подвижныхъ вращающихся колѣвъ, такъ что при подниманіи и опусканіи платформы, труба эта свободно удлиняется или укорачивается, вращаясь на шарнирахъ, соединяющихъ колѣна трубы.

Высота станины углеподъема 10,1 метр., наибольшая высота подъема платформы 4,9 метр. Грузъ поднимаемый 22 тонны, давленіе воды въ аккумуляторѣ 49 атмосферъ. Эти углеподъемы не

снабжены кранами для первоначальной нагрузки угля, желоба также не снабжены рѣшетками, вслѣдствіе твердости породы угля.

Цѣна одного углеподъема доходить до 7.000 руб. и кабестана къ нему около 760 руб. (металлич.).

*Остальные въ портъ находящіеся механизмы, приводимые въ дѣйствіе давлениемъ воды.*

Кромѣ трехъ углеподъемовъ, съ принадлежащими къ нимъ четырьмя кабестанами и поворотнаго круга, дѣйствующаго водою, имѣются въ доковыхъ устройствахъ Бонесса слѣдующія механическія приспособленія, приводимыя въ дѣйствіе водою: шесть передвижныхъ поворотныхъ крановъ въ 1.800 килограм. подъемной силы и цѣною каждый въ 2.519 руб. Краны эти поставлены поровну обѣими вышеприведенными фирмами; четыре большіе кабестана для втягиванія судовъ въ гавань, цѣною каждый 1.419 руб., поставленные фирмою Brown-Brothers; два механизма двойнаго дѣйствія для отпиранія и запиранія шлюзныхъ воротъ и еще шесть малыхъ пакгаузныхъ крана, поставленные обществомъ Hydraulic Engineer Company въ Честерѣ.

Для дѣйствія всѣхъ этихъ механизмовъ, поставлены двѣ паровыя машины по 140 пидкат. силъ каждая, изъ коихъ впрочемъ одна лишь работаетъ постоянно.

## 11) Бернтэйландъ (Burntisland).

Этотъ портъ какъ и Бонессъ, есть одинъ изъ меньшихъ портовъ Firth of Forth'a.

Пути этого порта находятся также въ непосредственномъ сообщеніи съ North British желѣзною дорогою.

### *Расположеніе рельсовыхъ путей.*

Расположеніе путей у стараго углеподъема, находящагося на правой сторонѣ дока А, ничего особеннаго не представляетъ. Черт. 29 листъ 7. За недостаткомъ широкой площади набережной для расположенія путей, необходимо было послѣднее связать съ углеподъемомъ поворотными кругами. Пути съ поворотными кругами, какъ для подачи груженыхъ вагоновъ, такъ и для отката порожнихъ, уложены въ уровнѣ набережной.

Докъ В, назначенный специально для вывоза каменного угля, представляеть особенное расположение, ибо, въ виду сбереженія протяженія набережныхъ, послѣднія устроены не по прямой линіи, а уступами, такъ что суда стоя у нихъ, заходятъ другъ за друга. Всѣ пути углеподъемовъ связаны поворотными кругами съ общими путями для подачи вагоновъ и съ путями для отката порожнихъ вагоновъ.

Какъ въ Ньюпортѣ, Сванси и друг. портахъ, пути для подачи груженыхъ вагоновъ лежатъ въ уровнѣ набережной; для отката же порожнихъ вагоновъ, пути лежатъ на 5,5 метр. выше.

### *Углеподъемы.*

При старомъ докѣ А, углеподъемы поставлены частью Брауномъ, частью Армстронгомъ. Устройство Браупскихъ углеподъемовъ совершенно тождественно съ описаннымъ выше въ Бонессѣ, высота подъема платформъ однако другая, именно 6,1 метр. и цѣна ихъ по 12.596 руб. металлнч.

Армстронгскіе углеподъемы совершенно такіе же какъ въ Кардиффѣ, однако безъ крановъ. При нихъ діаметръ ныряль главныхъ прессовъ 0,27 метра, а діаметры ныряль прессовъ для наклоненія вагона 0,22 метра.

*Остальныя, давленіемъ воды дѣйствующіе механизмы, находящіеся въ портѣ.*

Независимо отъ трехъ углеподъемовъ, установлены еще слѣдующія гидравлическія механизмы: два подвижные поворотные крана въ 1.800 килограм. каждый, по цѣнѣ въ 2.790 руб. и два механизма для движенія шлюзныхъ воротъ. Кабестановъ при углеподъемахъ здѣсь не имѣется. Подача и отводъ вагоновъ, а также поворачиваніе круговъ, производится лошадьми.

Все устройство приводится въ дѣйствіе двумя паровыми машинами въ 55 п. л. каждая, которыя обѣ работаютъ при полномъ дѣйствіи всѣхъ, въ портѣ находящихся, механизмовъ. Стоимость этихъ машинъ съ котлами составляетъ 9.447 металлнч. руб.

## 12) Ньюкастль, Соутъ-Шильдъ и Сундерландъ.

Описаніе приспособленій въ этихъ портахъ будетъ сдѣлано лишь вкратцѣ, ибо всѣ эти устройства и мѣстныя условія вовсе не под-

ходить къ условіямъ грузки угля на континентѣ. Болѣе подробное описаніе этихъ приспособленій помѣщено въ „Minutes of proceeding of the Institution of Civil Engineers“ за 1858 и 1859 года (On the Tyne docks at South Shields, by M-r Harrison) и съ того времени въ этихъ приспособленіяхъ не сдѣлано никакихъ существенныхъ измѣненій.

Приспособленія эти, заключаются, въ общихъ чертахъ, въ слѣдующемъ: бухты и водные пути, у которыхъ эти порты расположены, глубоко врѣзаны, и берега очень высоки. Желѣзнодорожные пути лежатъ на высокомъ берегу, а потому осталось лишь устроить необходимыя приспособленія для спуска угля въ суда съ высокаго берега, тогда какъ вездѣ на континентѣ необходимо бываетъ, сначала поднять уголь до высокаго борта судна, для спуска его въ трюмъ.

Далѣе, родъ угля добываемаго въ Ньюкастлѣ и его окрестностяхъ, очень твердый и мало измельчается, а потому не требуетъ особой предосторожности при нагрузкѣ въ суда. Наконецъ вагоны для перевозки угля снабжены здѣсь все безъ исключенія, створчатыми днищами, такъ какъ по способу производства грузки угля, не требуется вовсе лобовыхъ створныхъ стѣнокъ на вагонахъ.

Этотъ способъ нагрузки судовъ углемъ, до того простъ, что не требуетъ особыхъ подробныхъ и детальныхъ объясненій.

Въ докахъ (гананяхъ), расположенныхъ вблизи Ньюкастля вездѣ примѣненъ способъ нагрузки судовъ углемъ воронками и по трубамъ (Spout), для чего устроены высокіе помосты, частью деревянные, частью металлическіе, на которыхъ уложены рельсовые пути, непосредственно связанные съ грузовыми путями, нѣсколько выше расположенными, черт. 30 листъ 7. На помостѣ, уложены большею частью два боковые, долевые, пути для нагрузки судовъ и одинъ или нѣсколько среднихъ путей для подачи груженыхъ и отката порожнихъ вагоновъ.

Подъ боковыми путями, служащими для нагрузки судовъ, расположены желѣзныя или деревянные, желѣзомъ обитыя воронки, идущія отъ вагоновъ вертикально, затѣмъ подъ угломъ, наклонно къ желобамъ, направляющимъ уголь въ трюмъ судна. Черт. 31 листъ 8\*).

\*) На этомъ чертежѣ показано особое приспособленіе, состоящее изъ безконечной ленты съ черпаками, для предупрежденія измельченія угля при паденіи его въ трюмъ судна.

Для предотвращенія высокаго паденія угля, боковыя воронки устраиваются на разныхъ высотахъ, примыкающихъ къ вертикальной. Такимъ же образомъ желобъ дѣлается съемнымъ и можетъ быть опущенъ или поднятъ и установленъ противъ соотвѣтственной боковой воронки, для отвода изъ нея угля въ судно.

При соотвѣтственномъ подъемѣ берега возможно бываетъ, почти всегда, пути расположить такъ, чтобы нагруженные вагоны собственно тяжестью подкатывались къ мѣсту, гдѣ надо спустить уголь, иногда приспособленіе устраивается такъ, что скатываніемъ нагруженныхъ вагоновъ, поднимаются вверхъ порожніе.

По этой идеѣ устроены почти всея приспособленія для нагрузки судовъ углемъ въ Ньюкэстлѣ и его окрестностяхъ; всея встрѣчающіяся при этомъ различія въ расположеніи путей, стрѣлокъ и въ устройствѣ воронокъ и желобовъ, не существенны.

Даже въ новѣйшемъ изъ доковъ Ньюкэстля, *Coble-Dene-dock*, приспособленія для нагрузки угля устроены по этому же принципу.

Воронки въ этомъ докѣ устроены, изъ листового желѣза, двумя системами, расположенными на разныхъ высотахъ черт. 32 листъ 8. Уголь, вываливаясь изъ вагона, направляется внизъ по направленію пути, для по трубѣ расположенной подъ уклономъ около  $45^{\circ}$ , затѣмъ поворачиваетъ подъ прямымъ (въ планѣ) угломъ и направляется перпендикулярно къ краю пристани, также по трубѣ, внизъ подъ угломъ въ  $45^{\circ}$  къ желобу, направляющему уголь окончательно въ судно.

Въ Сундерландѣ и Гартлеполѣ нагрузка угля производится какъ этимъ описаннымъ способомъ, такъ и при помощи *Dropsystem* или вагонами, поднимаемыми кранами, и опоражниваемыми наклоненіемъ ихъ надъ трюмомъ судна, какъ это выше описано въ отдѣлѣ о Ливерпульѣ.

### *Портовые сборы.*

а) Общіе портовые сборы.

Суда, входящія въ Ньюкэстль, или выходящія изъ него, уплачиваютъ помимо разныхъ тоннажныхъ сборовъ, сборъ въ пользу Коммисіи по улучшенію судоходства на Тайнѣ (*Tyne Improvement Commission*).

Кромѣ того существуетъ особый тоннажный сборъ въ каждомъ докѣ отдѣльно.

Въ Тайнскихъ докахъ Сѣверовосточной (North Eastern) желѣзной дороги, взимается за каждую регистертонну, смотря по мѣсту назначенія, или прихода, отъ 5,25 до 30,87 коп.

б) Какъ особый сборъ взимается за каждую тонну нагруженнаго угля 5,25 к.

в) Сборъ за пользованіе приспособленіями для нагрузки судовъ углемъ, включенъ въ желѣзнодорожный тарифъ.

г) За разсыпку угля въ трюмѣ судна, существуетъ во всѣхъ докахъ однообразно установленные сборы, они вообще нѣсколько ниже противу тѣхъ же сборовъ въ Кардиффѣ.

д) Балластный сборъ въ Ньюкэстлѣ нѣсколько выше чѣмъ въ Кардиффѣ.

е) Цѣна угля поставленнаго на бортъ судна за 1 тонну:

- |                                   |                           |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1) для паровыхъ котловъ . . . . . | отъ 251,53 до 262,40 коп. |
| 2) для газоваго угля . . . . .    | „ 185,23 „ 216,10 „       |

### 13) Миддельсборо (Middlesborough).

На рѣкѣ Тисѣ (Tees) находится одинъ изъ главныхъ портовъ западнаго побережья, для отпуски желѣза, въ которомъ устроены также приспособленія для грузки судовъ каменнымъ углемъ.

Доки этого порта принадлежатъ Сѣверо-восточной желѣзнодорожной компаніи (North Eastern Railway Company).

Нагрузка судовъ углемъ совершается здѣсь такъ-же какъ и въ портахъ восточнаго побережья Англіи, къ которымъ Сѣверо-восточная дорога примыкаетъ, какъ напримѣръ въ South Shield'ѣ, Сундерландѣ и въ другихъ, исключительно вагонами со створчатыми днищами, вмѣщающимъ около 9 тонъ угля.

#### *Прежнія приспособленія для нагрузки угля.*

При этихъ приспособленіяхъ устроены пути высокаго уровня, которые выдвинуты на подмостяхъ на столько въ докъ, что выгрузка угля изъ вагоновъ совершается лишь открытіемъ днищевыхъ затворовъ и уголь направляется подставленнымъ желобомъ въ судно, черт. 33 листъ 8, или же вагонъ на столько выдвигается, что становится надъ судномъ, причемъ уголь высыпается непосредственно внизъ въ трюмъ судна.

Вагоны могутъ быть также наклоняемы при помощи особыхъ подвижныхъ платформъ, черт. 34, приче́мъ уголь открытíемъ лобовой стѣнки вагона, высыпается и падаетъ въ судно, или непосредственно, или направляясь подставленнымъ подъ вагонъ желобомъ. Соотвѣтственно способу высыпки угля, вагоны должны быть снабжены, или створчатыми днищами, или лобовыми стѣнками.

Нагруженные вагоны скатываются къ платформѣ по наклоннымъ рельсамъ и, послѣ опорожниванія, переводятся стрѣлкою на другой путь, который имѣетъ уклонъ въ обратную сторону, способствующій откату порожняго вагона собственной тяжестью. Этотъ способъ нагрузки требуетъ весьма мало прислуги.

Такъ какъ способъ этотъ годенъ лишь для нагрузки мелкихъ, плоскодонныхъ судовъ, помѣщающихся подъ помостомъ, то при постоянномъ ростѣ размѣровъ судовъ и при почти исключительномъ употребленіи для перевозки угля пароходовъ, способъ этотъ въ настоящее время болѣе не примѣняется.

### *Новыя гидравлическія приспособленія.*

Новыя гидравлическія приспособленія, установленныя нынѣ, устроены такимъ образомъ, что вагоны до высыпки угля сначала поднимаются, приче́мъ уголь, вываливаясь сквозь створчатые днища вагоновъ, принимается воронкою и направляется окончательнo желобомъ въ грузящееся судно, черт. 35, листъ 8.

Это приспособленіе, поставлено заводомъ Армстронга въ Ньюкэстлѣ, оно имѣетъ два напорныхъ цилиндра съ нырялами, пзъ коихъ малый всегда находится подъ давленіемъ воды и служитъ противовѣсомъ при опусканіи ныряла, тогда какъ большое пыряло, при опусканіи платформы, разобщено отъ напорной воды.

Подвижной желобъ, укрѣпленіе котораго на подставкѣ (стапинѣ) на различныхъ высотахъ, соотвѣтственно положенію корабля, производится такимъ же образомъ какъ на углеподъемахъ въ Кардиффѣ, какъ описано выше, имѣетъ также небольшое боковое движеніе вращеніемъ около вертикальной оси или шкворня расположеннаго по середнѣ балки, поддерживающей задній конецъ желоба.

Приспособленіе для предунрежденія измелчачія угля, пока не примѣняется на этихъ углеподъемахъ.

Расположеніе путей у этихъ углеподъемовъ изображено на планѣ

черт. 36 листъ 9, а на черт. 37 обозначены схематически, соотвѣтственные высоты расположенія путей.

#### 14) Гульь. (Hull).

Угледоѣмы въ старыхъ докахъ Гулля, не были въ послѣднее время улучшены, а потому коснемся ихъ здѣсь лишь вкратцѣ.

##### *Угледоѣмы въ Humber или Albert докъ.*

Здѣсь уставлены паровые краны, которые такимъ же образомъ, какъ краны въ Глазго установлены на пути идущемъ параллельно берегу и поднимаютъ вагоны на платформахъ, подвѣсивая ихъ надъ трюмамъ судовъ и высыпаютъ уголь, или открывая днищевые затворы, или наклоняя вагонъ и открывая лобовую стѣнку его.

Въ Альбертъ докъ находятся исключительно поворотные паровые краны, устроенные съ вылетными стрѣламъ, вращающимися въ вертикальныхъ плоскостяхъ, около нижнихъ своихъ концовъ. Вагоны пододвигаются и устанавливаются на платформахъ расположенныхъ близъ края набережной; затѣмъ поднятіе и опоражниваніе вагоновъ совершается также, какъ это описано выше. Подвижная въ вертикальной плоскости стрѣла крана, даетъ возможность поднятый вагонъ удалить отъ края набережной, что представляетъ нѣкоторое удобство при широкихъ судахъ и при установкѣ люка судна не совершенно противъ крана.

##### *Гидравлическій угледоѣмъ, съ тремя платформами, при Альбертъ докъ.*

На набережной этого дока поставлена деревянная станна, такой длины, (вдоль набережной), что можетъ принять три нагруженные вагона одновременно, она состоитъ изъ трехъ отдѣленій и въ каждомъ изъ нихъ имѣются особыя независимыя другъ отъ друга платформы. Путь для подачи вагоновъ пропущенъ сквозь станну вдоль набережной, причемъ для опоражниванія вагона, его сначала устанавливаютъ на подвижной платформѣ перваго отдѣленія А, черт. 38 листъ 9 которая гидравлическимъ прессомъ поднимается вмѣстѣ съ вагономъ на высоту, необходимую для опоражниванія вагона, затѣмъ онъ передвигается въ отдѣленіе В, гдѣ на этой высотѣ установлена постоянная платформа, подъ ней расположена воронка въ которую уголь высы-

пается, открываніемъ днищевыхъ затворовъ вагона. Если вагоны снабжены створчатыми лобовыми стѣнками, то они будучи приподняты платформою А, до высоты платформы В, наклоняются впередъ, причемъ уголь высыпается въ воронку укрѣпленную подъ платформой В. Опорожненные вагоны, установленные вновь горизонтально, переводятся на платформу С, которая предварительно должна быть приподнята до уровня платформы В, и ею опускаются до уровня набережной, и откатываются по рельсовому пути въ сторону.

Всѣ платформы А и С съ нырялами уравновѣшены противовѣсами.

Выгода сего устройства заключается въ томъ что во время опусканія одного вагона поднимается другой, а третій въ это же время опораживается стоя на платформѣ В; три вагона за разъ могутъ быть на подъемѣ, впрочемъ лишь въ томъ случаѣ, когда вагоны снабжены створчатыми днищами; если же они имѣютъ лобовые затворы, то заразъ могутъ быть подняты лишь два вагона.

Здѣсь расположеніе путей, допускающее непрерывное дѣйствіе аппарата, весьма просто; но за то самый аппаратъ занимаетъ много мѣста и долженъ быть снабженъ двумя подъемными прессами, а потому обходится весьма дорого.

Кромѣ того остается еще невыясненнымъ, дѣйствительно-ли полезна достигаемая скорость нагрузки угля; замѣчено вообще, что почти при всѣхъ болѣе простыхъ аппаратахъ происходятъ остановки въ нагрузкѣ угля, главнымъ образомъ отъ того, что рабочіе, разбрасывающіе уголь въ трюмъ судна, не поспѣваютъ этой работой на равнѣ съ нагрузкою судна угледоъемомъ.

Въ Гултѣ, въ Albert докѣ, установленъ еще одинъ приборъ, на подобіе элеватора, при помощи котораго уголь, высыпаемый изъ вагоновъ въ углубленіе набережной между рельсами, поднимается вверхъ норіею до высоты, необходимой для ската по желобу въ трюмъ судна. Приборъ этотъ, описанный въ вышеприведенномъ отчетѣ Бухгейстера, не можетъ быть однако примененъ для хрупкаго спльно измельчающагося угля.

#### *Угледоъемы въ Alexandra докѣ.*

Въ іюнѣ 1885 года открытъ былъ вновь выстроенный въ Гултѣ Alexandra докъ, къ которому проведены пути желѣзныхъ дорогъ

Брамлей и West Riding Junction Railway, которыя связываютъ докъ съ угольнымъ копами въ Йоркширъ. При этомъ докъ установленъ два углеподъема.

На черт. 39 листъ 9 показано общее расположеніе дока и железнодорожныхъ при немъ путей.

Углеподъемы здѣсь въ общемъ сходны съ такими же въ Нью-портѣ; вагоны подаются къ нимъ въ уровнѣ набережной, на путяхъ съ уклономъ въ 1:100 и послѣ подъема ихъ гидравлическимъ прессомъ и опоражниванія, отводятся на пути съ обратнымъ уклономъ, расположенные на нѣкоторой высотѣ, надъ поверхностью набережной.

Высота станинъ подъемовъ (исполненныхъ на заводѣ Армстронга) и подвѣтій платформъ, превышаетъ всѣ выше описанные углеподъемы, а именно:

Станины, высотой 19 метровъ, наибольшая высота подъема платформъ 13,4 метр., считая отъ поверхности набережной.

Высота стѣны набережной отъ основанія до верха 12,4 метр., колебаніе уровня воды въ докъ въ 1,8 метр. Пути для отвода вагоновъ, уклономъ въ 1:70, расположены на высотѣ 5,2 метр. на деревянныхъ эстакадахъ. Устройство этихъ эстакадъ оказалось дешевле земляныхъ насыпей. Подъемныя платформы, рассчитанныя на подъемъ вагоновъ со створчатыми днищами, снабжены воронками для приѣма угля, подъ ними расположенныя, которыя поднимаются вмѣстѣ съ платформами. Отверстія въ платформахъ надъ воронками закрываются желѣзными крышками, когда ими не пользуются.

Диаметръ полога длиннаго ныряла 0,355 метра, короткаго, для наклоненія платформы 0,23 метра, длина хода послѣдняго 2,7 метра; давленіе воды въ трубахъ 49 атмосферъ.

*Остальные, давленіемъ воды дѣйствующіе, механизмы.*

При докъ „Alexandra“ имѣются, кромѣ углеподъемовъ, слѣдующіе гидравлическіе механизмы:

- а) Одинъ постоянный кранъ (поворотный) подъемною силою въ 10 тоннъ.
- б) Семнадцать подвижныхъ, поворотныхъ крановъ, въ 1½ тонны каждый.
- в) Шесть такихъ же крановъ въ 2½ тонны.

г) Четыре подвижныя лебедки для пакгаузовъ, въ  $\frac{1}{2}$  тонны каждая.

д) Три такія же лебедки, въ  $\frac{3}{4}$  тонны каждая.

е) Три лебедки въ 1 тонну.

ж) Шесть кабестоновъ въ 5 тоннъ каждый.

з) Два такихъ же кабестона въ 11 тоннъ, при шлюзахъ для втягиванія судовъ.

и) Пятнадцать малыхъ кабестоновъ для движенія вагоновъ.

к) Шесть приспособленій для открыванія и закрыванія шлюзныхъ воротъ.

Сверхъ этого установленъ одинъ поворотный мостъ, пролетомъ въ 25,9 метр. черезъ входъ въ гавань, приводимый въ движеніе также давленіемъ воды.

### *Портовые сборы въ Гулль.*

а) Общіе портовые сборы, смотря по мѣсту назначенія судна, измѣняются за 1 регистертонну . . . . . отъ 15,44 до 42,60 коп.

б) За нагрузки углеподъемами, кранами и прочими механизмами за 1 тонну угля. . . . . 5,25 "

Сверхъ сего за право пользованія набережной (Wharfage) за 1 тонну . . . . . 2,47 "

в) Цѣна 1 тонны лучшаго угля для паровыхъ котловъ:

1) въ вагонахъ у коней . . . . . 200,66 "

2) желѣзнодорожная ставка за 85 километровъ . . . . . 87,36 "

3) Портовые сборы и нагрузка . . . . . 20,99 "

---

всего на бортѣ судна . . . . . 309,02 коп.

4) Угольные фрахты за 1 тонну угля, для пароходовъ, отправляемыхъ изъ Гулля въ Стокгольмъ . . . . . 131,20 "

" Бюенгагенъ . . . . . 125,03 "

" Кронштадтъ . . . . . отъ 94,16 до 123,48 "

### 15) Грэтъ Гримеби.

Портъ Грэтъ Гримеби на р. Гумберъ (противъ Гулля) увеличенъ въ послѣднее время новою припльвною гаванью, называемою Александра докъ. Какъ старыя, такъ и новыя угледодѣмы, находящіяся въ этомъ портѣ, устроены по тому же типу какъ въ Ньюкэстлѣ, т. е. они состоятъ изъ деревянныхъ помостовъ, выступающихъ въ гавань, съ которыхъ уголь, подвозимый въ вагонахъ со створчатыми днищами, высыпается въ суда, при помощи желобовъ.

#### *Портовые сборы.*

Сверхъ обычныхъ общихъ портовыхъ сборовъ на регистротонну, въ Гримеби взимается за нарузку угля съ пристаней, съ путями высокаго уровня (Drops), за каждую тонну угля . . . . . 2,47 коп.

Этотъ сборъ уплачивается обыкновенно хозяиномъ судна.

Сверхъ сего при нарузкѣ судовъ съ пристаней, желобами, желѣзной дорогой взимается сборъ за пользование путемъ, за каждую тонну угля . . . . . 2,47 „

Сборъ этотъ прибавляется однако къ желѣзнодорожному фрахту и поэтому уплачивается продавцомъ, поставляющимъ уголь на борть судна.

Цѣна угля за 1 тонну, опредѣляется въ Грэтъ Гримеби, въ слѣдующихъ цифрахъ:

а) Въ вагонахъ при косяхъ, за лучшей паровой уголь . . . . . отъ 185,23 до 192,94 кон.

б) Желѣзнодорожная ставка, включая и нарузку, при разстояніи отъ 90 до 106 километровъ . . . . . 95,02 „

А потому цѣна 1 тонны угля, поставленной на борть судна . . . . . отъ 248,20 до 288,03 „

При торговыхъ сдѣлкахъ уголь вообще поставляется на борть судна.

### 16) Бостонъ.

Этотъ портъ считался прежде однимъ изъ наиболѣе важныхъ мѣстъ отпуска угля на восточномъ побережьѣ Великобританіи, онъ

былъ однако во время послѣдняго десятилѣтїя все болѣе и болѣе оставленъ по той причинѣ, что портовое устройство все болѣе и болѣе не соответствовало новѣйшимъ требованїямъ судоходства.

Необходимость поэтому принудила устроить новую приливную гавань, которая съ моремъ соединена каналомъ, доступнымъ и для глубокоосидающихъ судовъ.

### *Общее расположеніе.*

Новый въ 1884 году открытый докъ, представленъ на черт. 40 листъ 9.

Входной шлюзъ имѣеть длину въ 90 метровъ, при ширинѣ въ 15,3 метр. Наибольшая высота подъема спзигійнаго прилива надъ порогомъ шлюза 7,6 метр., а наименьшая во время квадратуръ 5,5 метр.

Въ этомъ докѣ поставленъ одинъ углеподъемъ, представляющій особый интересъ въ томъ, что заготовленъ не на вышеуказанныхъ заводахъ.

Расположеніе рельсовыхъ путей для движенія угля, весьма ограничено. Нагруженные вагоны, устанавливаемые на путяхъ III и IV, подтягиваются къ углеподъему кабестанами *K* и послѣ подъема и опоражниванія, спускаются внизъ на пути I и II, по которымъ они отводятся въ сторону.

### *Углеподъемъ.*

Представленный на черт. 41 листъ 10 углеподъемъ во всемъ соответствуетъ углеподъемамъ Армстронга, но исполненъ на заводѣ John Abbot et C<sup>o</sup> въ Gateshead на р. Тайнѣ. Онъ приспособленъ для выгрузки вагоновъ какъ со створчатыми днищами, такъ и со створчатыми лобовыми стѣнками \*).

При опоражниваніи вагоновъ со створчатыми днищами, пользуются воронкою, расположенною подъ платформою и на-глухо съ нею связанною, которая при помощи подвижнаго звена соединяется съ наружнымъ, отводящимъ уголь въ судно, желобомъ. Наибольшая высота подъема вагона 9,15 метровъ, а сила подъема 20 тоннъ.

\*) Engineer 9 Jan. 1885 г.

Наклоненіе платформы достигается дѣйствіемъ другого пресса, длиною въ 2,5 метр., діаметромъ въ 0,175 метр. Ныряло этого послѣдняго пресса остается подъ давленіемъ воды изъ аккумулятора при опусканіи платформы.

Когда производится онораживаніе вагоновъ со створчатыми лобовыми стѣнками, то платформу наклоняютъ особымъ небольшимъ прессомъ, подвѣшаннымъ подъ платформу, который получаетъ свою воду изъ полой части ныряла большого пресса.

Давленіе воды въ трубахъ 49 атмосферъ.

Желобъ, устроенный во всемъ сходно съ Армстронгскимъ, имѣетъ длину въ 6,1 метр., ширину 3,36 метр. въ верхнемъ и 1,83 метр. въ нижнемъ концѣ, и снабженъ затворами для урегулированія нагрузки угля.

Рѣшетокъ для выдѣленія мелкаго угля не имѣется.

Кранъ для предупрежденія пзмельченія угля, хотя въ общемъ имѣетъ обыкновенное устройство, но снабженъ бадьею, которая по снятіи заклинокъ, вращаясь на горизонтальныхъ цапфахъ, опрокидывается для высыпки угля.

Кабестаны служащіе для передвиженія вагоновъ, приводятся въ дѣйствіе каждый тремя гидравлическими прессами съ нырялами діаметромъ 0,056 метр. и длиною въ 0,305 метр., движеніе которыхъ передается вертикальной оси кабестана зубчатыми колесами.

### *Стоимость этихъ механическихъ приспособленій.*

Стоимость обѣихъ паровыхъ машинъ въ 50 п. с. каждая, съ нагнетательными насосами, составляетъ 5.765 металлич. рублей, аккумулятора 2.430 м. руб. и котловъ 2.047 м. руб., углеподъема 8.720 м. руб. Сверхъ сего имѣются въ портѣ слѣдующіе гидравлическіе механизмы: Два кабестана въ 2 $\frac{1}{2}$  к. 10 тоннъ каждый (по 725 м. руб. каждый). Четыре кабестана въ 5 тоннъ каждый, на шлюзахъ, для втягиванія судовъ (по 1.390 м. руб. каждый). Механизмы для открыванія и запыранія шлюзныхъ воротъ, цѣнностью въ 8.300 м. руб. Одинъ кранъ въ 15 т. подъемной силы, цѣнностью въ 6.000 м. руб. Одинъ кранъ въ 3 т. (3.118 м. руб.). Три наклаузныхъ крана общою стоимостью въ 2.593 мет. рублей. Одинъ новоротный кругъ приводимый въ движеніе кабестаномъ (887 м. руб.). Стоимость трубъ и клапановъ простирается до 7.100 мет. руб.

Все устройство было установлено за 53.870 мет. руб. съ 6 мѣсячною отвѣтственностью (на случай неудовлетворительной установки или употребленія въ дѣло негодныхъ матеріаловъ).

### 17) Роттердамъ.

Въ послѣднее время фирмою Армстронгъ-Митчель и К<sup>о</sup>. въ Ньюкэстлѣ установлены гидравлическіе угледоѣмы въ Роттердамѣ, въ новомъ его портѣ, на Фейенордѣ, общее расположеніе которыхъ показано на чертежѣ 42 листъ 10.

#### *Угледоѣмъ.*

Установленные здѣсь угледоѣмы совершенно отличаются отъ устанавливаемыхъ Армстронгомъ угледоѣмовъ въ другихъ портахъ.

Въ зависимость отъ качества грунта, а также и вслѣдствіе имѣвшейся уже готовой стѣнки набережной, было поставлено городомъ въ условіе, чтобы всѣ части угледоѣма были расположены поверхъ набережной. Это условіе сразу отняло возможность установить подъ платформою гидравлическаго пресса, вертикально вкопаннаго въ землю, а подъемъ ея долженъ былъ здѣсь достигнуть цѣпями.

На установленномъ здѣсь первомъ угледоѣмѣ, платформа, которая можетъ быть поднята на высоту 9.15 метр. надъ набережной, подвѣшана на четырехъ цѣпяхъ. Собственный вѣсъ платформы уравновѣшенъ противовѣсами. Черт. 43 листъ 11.

Переднія двѣ цѣпи (обращенныя къ водѣ) прикрѣплены къ рамѣ, плотно прилаженной къ вертикальнымъ стойкамъ станины, такъ что вагонъ съ углемъ можетъ свободно помѣститься внутри ея.

Къ рамѣ этой, къ нижнимъ концамъ вертикальныхъ ея вѣтвей прикрѣплена на шпцахъ балка, на которой упирается переднее ребро подъемной платформы, такъ что вращеніе всей платформы, при наклоненіи ея, происходитъ около этихъ шпцовъ.

Заднее ребро платформы (обращенное въ землѣ) лежитъ на поперечной, наглухо съ ней связанной, балкѣ. Къ концамъ этой балки прикрѣплены другія двѣ подъемныя цѣпи, которыя служатъ какъ для подъема и опусканія платформы, такъ и для наклоненія ея.

Главный подъемный гидравлическій прессъ прикрѣпленъ вертикально съ боку станины угледоѣма, къ деревяннымъ вертикально поставленнымъ балкамъ.

Прессъ этотъ имѣетъ два нырля, одно идущее внизъ, друго-  
вверхъ. Первое имѣетъ на концѣ своемъ четыре блока, второе два.  
длина этихъ нырля соответствуетъ: перваго — половинѣ полного  
подъема платформы, втораго — половинѣ подъема задней части плат-  
формы, при ея наклоненіи.

Подъемныя цѣпи отъ платформы, проведены черезъ отводные  
блоки: переднія, (обращенные къ подѣ) къ двумъ крайнимъ бло-  
камъ нижняго нырля и отъ нихъ къ станинѣ углеподъема, къ ко-  
торой онѣ на глухо прикрѣплены, заднія двѣ цѣпи идутъ также че-  
резъ отводные блоки, сначала къ двумъ блокамъ верхняго нырля и,  
обгибая ихъ, спускаются внизъ и обходя средніе два блока нижняго  
нырля, прикрѣплены своими концами какъ и первыхъ двухъ цѣ-  
пей, на глухо, къ станинѣ углеподъема.

При такомъ устройствѣ, движеніемъ нижняго нырля поднимается  
и опускается платформа, и при установкѣ ея на высотѣ, соответ-  
ствующей положенію желоба, водопускныя краны нижняго прессы  
закрываются, цѣмъ выстѣ и укрѣпляется платформа въ поднятомъ  
ея положеніи, выдвигая затѣмъ верхнее нырля, движеніе это пе-  
редается двумъ заднимъ цѣнямъ, которыя, поднимая заднюю часть  
платформы, производятъ наклоненіе ея и высыпку изъ вагона угля  
въ желобъ.

Обратное движеніе начинается верхнимъ нырляемъ, которое, бу-  
дучи опущено, устанавливаетъ платформу горизонтально, и выпуская  
затѣмъ воду изъ нижняго прессы, платформа собственнымъ вѣсомъ  
опускается до уровня набережной.

Собственно опораживание вагона производится содѣйствіемъ ра-  
бочаго, который долженъ находиться на платформѣ, и который при  
наклоненіи вагона открываетъ его лобовую стѣнку.

Движеніе и установка желоба достигается здѣсь такимъ же спо-  
собомъ какъ въ Кардиффѣ, что описано было выше.

Особенное вниманіе заслуживаетъ устройство, примененное здѣсь  
для колебанія желоба въ горизонтальной плоскости, при которомъ  
нижній конецъ его отходитъ отъ середины на 1,3 метр. въ каждую  
сторону.

Верхній конецъ желоба упирается плетью въ поперечную балку,  
которая снабжена на концахъ своихъ, горизонтальными шпцами.  
Черт. 44 листъ 11.

Подшипники этихъ шиповъ снабжены собачками съ противовѣсами упирающимися въ зубцы реекъ, укрѣпленныхъ къ переднимъ стойкамъ станши углеподъема.

Для того чтобы цѣпью, къ которой подвѣшенъ передній выступающій къ судну конецъ желоба, достигнуть колебанія его около вертикальной оси, на переднемъ концѣ желоба, у каждой изъ боковыхъ стѣнокъ прикрѣплены на короткихъ цѣпяхъ неподвижные блоки, черезъ которые и черезъ отводные блоки, находящіеся наверху станши, перекнута цѣпь, свободные концы которой отведены по вертикальнымъ отводнымъ блокамъ такимъ образомъ, что могутъ быть прикрѣплены или къ платформѣ или къ станши углеподъема.

Часть цѣпи, находящаяся между блоками укрѣпленными къ боковымъ стѣнкамъ желоба, перекнута черезъ горизонтальный блокъ укрѣпленный наверху станши, причемъ вращеніемъ этого блока движеніе передается цѣпямъ и концу желоба, который при этомъ можетъ получить горизонтальное колебательное движеніе.

Желобъ, какъ обыкновенно, снабженъ въ нижнемъ своемъ концѣ затворами, посредствомъ которыхъ регулируется засыпка угля въ судно. Для облегченія открыванія и закрыванія, затворы эти поддержаны роликками.

Рѣшетки для выдѣленія мелкаго угля при этихъ желобахъ не имѣются.

Кранъ для предотвращенія измельченія угля имѣетъ обыкновенное устройство.

Управленіе углеподъемомъ производится однимъ человекомъ, который помѣщается съ боку станши въ особой будкѣ.

Кромѣ установленнаго нынѣ углеподъема, имѣются еще у внутренней гавани Фебенорда слѣдующіе гидравлическіе механизмы: одинъ постоянный поворотный кранъ въ 30 тоннъ, два подвижныхъ поворотныхъ крана въ 1½ тонны каждый; для послѣднихъ вода изъ напорныхъ трубъ проводится по колѣнчатымъ трубамъ, которыя вдвигаются другъ въ друга на подобіе телескопа.

### *Паровыя машины и Аккумуляторы.*

Машина, доставляющая воду къ кранамъ подъ давленіемъ 50 атмосферъ служитъ также и для снабженія углеподъемовъ напорною водою. Сила этой машины 40 п. л.

Внутри пакгаузовъ, для поднятія товаровъ изъ одного этажа въ другой, примѣняются гидравлическія лебедки (jiggers) устанавливаемые произвольно; къ нимъ проводится напорная вода по каучуковымъ, съ металлическими внутри спиралями, кишкамъ. Эти кишки поставлены также заводомъ Армстронга.

### *Стоимость угледоѣма.*

Поставка описаннаго здѣсь угледоѣма съ двумя опрокидывающимися кабестанами исполнена заводомъ Армстронга за 20692 металлическихъ рублей. — Полное же устройство, включая и укладку путей для подвода и отвода вагоновъ стоило 33958 мет. рублей.

Угледоѣмъ въ Роттердамѣ, при посѣщеніи этого порта, лѣтомъ 1888 г., инженерами Лпсовскимъ и Вознесенскимъ не былъ въ дѣйствиіи. По объясненію мѣстнаго инженера, угледоѣмъ этотъ до сихъ поръ дѣйствовалъ мало, не болѣе 15 разъ въ году, такъ какъ вообще отправка Вестфальскаго угля черезъ этотъ портъ не развилась еще. Кромѣ того часть угля выгружается на суда въ желѣзнодорожной гавани, помощью обыкновенныхъ крановъ; желѣзная дорога беретъ ту же плату за выгрузку этими кранами, какалъ взимается за пользованіе угледоѣмомъ (принадлежащимъ городу). Большая же часть угля, подвозимаго къ Роттердаму, подвозится не по желѣзной дорогѣ, а водою по Рейну.

Скорость работы угледоѣма, по сообщенію мѣстнаго инженера, достигала 18—20 вагоновъ въ часъ, т. е. до 200 тоннъ (таже величина, что дана выше для Кардиффа). Отмѣтить слѣдуетъ еще, что для работы зимою, во время морозовъ, имѣется особое приспособленіе, состоящее въ томъ, что около цилиндровъ прессовъ устроены газовые рожки, сообщенные съ общемою городскою газовой сѣтью; эти рожки и служатъ для нагрѣванія воды въ прессахъ.

За пользованіе угледоѣмомъ взимается плата по 1 гульдену (52,51 коп. металл.) съ вагона за подъемъ и выгрузку, и сверхъ сего, по желанію, за взвѣшиваніе на особомъ помостѣ, по 25 центовъ (13,13 коп. мет.) съ вагона.

## IV. Приспособленія для движенія вагоновъ и втягиванія судовъ.

Для передвиженія вагоновъ на портовой территоріи избѣгаютъ по возможности употребленія паровозовъ, которые замѣняются лошадьми и людьми, а при устройствѣ въ портѣ гидравлическихъ механизмовъ, кабестанамп. Такими же кабестанамп, но бѣльшей силы, производится втягиваніе и передвиженіе судовъ въ портовыхъ гаваняхъ.

### *Привлеченный кабестанъ Брауна.*

При устройствѣ сего кабестана фирма Браунъ-братья въ Эдинбургѣ задала себѣ задачу устранить по возможности устройство дорогого фундамента, а также сдѣлать всѣ части прибора легко доступными.

Въ чугунной основной коробкѣ *A* черт. 45 листъ 11, прикрѣпленной болтами къ бетонному массиву, установлена глухо стальная пустая внутри колонка *B*, въ верхней части которой на глухо прикрѣпленъ эксцентрикъ *K*, вокругъ котораго расположено четыре качающихся гидравлическихъ пресса *F*. Оси вращенія этихъ прессовъ прикрѣплены къ круглой чугунной коробкѣ *E*, нырля снабжены, каждое, двумя роликами *C*, упирающимися въ эксцентрикъ. Вслѣдствіе взаимнаго дѣйствія этихъ четырехъ прессовъ, соответственно управляемыхъ, связанныхъ между собою свободнымъ кольцомъ *X* и разъединенныхъ эксцентрикомъ другъ отъ друга, происходитъ вращательное движеніе коробки *E* и барабана *L* неразрывно съ нею связаннаго.

Для впуска воды въ прессы, стоптъ только рабочему пажать ногою пуговку *N*, причемъ открывается водовпускной кранъ, и напорная вода по трубѣ входитъ черезъ пустую колонку *B* въ коробку *D* вокругъ этой коробки движется золотникъ, вмѣстѣ съ барабаномъ, къ которому прикрѣплены трубки *G*, проводящія воду въ прессы.

Распределеніе воды достигается здѣсь собственнымъ движеніемъ, причемъ напорная вода по трубамъ *G* проводится въ прессы *F* сквозь полые цапфы *H*, тогда какъ отработанная вода по этимъ же трубкамъ идетъ обратно въ коробку *D* въ особое въ немъ кольцевое отдѣленіе, откуда она утекаетъ, проходя внизъ по полой колонкѣ *B*. между ея стѣнками и напорной трубой.

Располагая два барабана одинъ надъ другимъ, можно однимъ и тѣмъ же кабестаномъ получить различныя скорости передвиженія, соответствующія радиусамъ этихъ барабановъ.

Отлитые изъ бронзы прессы со стальными роликми, движутся въ мыльной водѣ, чѣмъ достигается достаточная, для плавности хода, смазка. Для предотвращенія утечки мыльной воды вдоль колонки *B*, послѣдняя входитъ въ коробку *A* сальникомъ. Барабанъ *L* легко снимается, причемъ обнажаются всѣ подвижныя части кабестана.

Эти кабестаны развиваютъ обыкновенно, верхнимъ своимъ барабаномъ, силу тяги отъ 0,75 до 1 тонны.

*Привилегированный кабестанъ Бротерхуда.* Черт. 46 листъ 12.

Въ этомъ кабестанѣ, устроенномъ заводомъ „Hydraulic Engineering Company in Chester“ барабанъ расположенъ на чугунной доскѣ, прикрѣпленной къ каменному фундаменту болтами.

Ось отъ барабана проходитъ вертикально сквозь доску внизъ и оканчивается подъ нею кривошипомъ, пуговку которого обхватываютъ концы ныряль трехъ, горизонтально расположенныхъ подъ угломъ въ 120 другъ къ другу, прессовъ.

Впускъ напорной воды достигается здѣсь также нажатіемъ ногою пуговки, выступающей надъ чугунной доской, причемъ открывается впускной кранъ и вода распределяется при помощи золотника поочередно въ прессы; движеніе золотника регулируется при этомъ самимъ движеніемъ кабестана. Смазка всѣхъ частей производится сверху.

### *Кабестаны Армстронга.*

1) *Поворотный кабестанъ съ двумя гидравлическими прессами* черт. 47 листъ 12.

Для полученія небольшой силы тяги, которая необходима, напримеръ при подачѣ вагоновъ, Армстронгомъ устроенъ кабестанъ, подвижныя части котораго всѣ прикрѣплены къ чугунной доскѣ, вращающейся на двухъ горизонтальныхъ шипахъ. Доска эта легко перевертывается если отодвинуть укрѣпляющую ея задвижку, причемъ не прекращается впускъ напорной воды, такъ какъ она здѣсь проведена сквозь полые шипы доски. Этимъ способомъ всѣ подвижныя части кабестана могутъ быть легко осмотрѣны и смазаны.

Вертикальная ось, на которой утвержденъ барабанъ, имѣетъ внизу коническое зубчатое колесо, которое сдѣпляется съ другимъ такимъ же колесомъ, насаженнымъ на горизонтальную ось, а эта послѣдняя имѣетъ два, подь прямымъ угломъ другъ къ другу расположенныхъ, кривошпа, приводимые въ движеніе двумя качающимися прессами. Эти прессы, къ которымъ напорная вода проведена сквозь полые шпы, имѣютъ двойное дѣйствіе, что достигается слѣдующимъ ихъ устройствомъ.

Вмѣсто нырля имѣются здѣсь поршни со стержнямъ, поперечныя сѣченія послѣднихъ составляютъ половину площадей поршней.

Передняя, обращенная къ кривошину, часть пресса находится постоянно подь давленіемъ напорной воды, тогда какъ задняя часть попеременно сообщается съ напорною водою и попеременно съ воздухомъ. При такомъ устройствѣ напорная вода будетъ дѣйствовать то съ одной, то съ другой стороны поршней и полезное давленіе производимое водою будетъ всегда соответствовать давленію на ловшну площади поршня. Залотники устроены при шпахъ прессовъ, и дѣйствуютъ при качаніи ихъ такимъ образомъ, что отверстие въ боковой стѣнкѣ шпа, приходится поочередно: то въ сообщеніи съ напорной водою, то съ воздухомъ. Во избѣжаніе разрыва трубъ при быстрой остановкѣ кабестана имѣется предохранительный клапанъ.

2) *Кабестаны для подтягиванія вагоновъ* черт. 48 листъ 12.

Въ Кардиффѣ, заводомъ Армстронга, поставлены кабестаны особаго устройства, специально назначаемые для подтягиванія угольныхъ вагоновъ.

Здѣсь, какъ и на вышеописанномъ кабестанѣ, всѣ подвижныя части укрѣплены къ чугунной доскѣ *F*, которая, вращаясь на шпахъ *G*, можетъ быть опрокинута, причемъ облагается весь механизмъ, на случай осмотра или смазки.

Здѣсь, какъ и выше, приводится горизонтальная ось въ вращательное движеніе дѣйствіемъ двухъ, двойнаго дѣйствія прессовъ, *A*.

Вмѣстѣ съ этою осью вращается насаженное на нее, кулачное колесо *B*, которымъ притягивается цѣпь, прижатая чугуннымъ рычагомъ *C*. Кулаки колеса имѣютъ размѣры соответствующіе размѣрамъ звеньевъ цѣпи, а послѣдняя, чтобы идти свободно, прижимается двумя роликми *D*, укрѣпленными на рычагѣ *C*, такъ что этимъ предупреждается обратное скольженіе цѣпи.

Цѣпь отъ кулачнаго колеса идетъ вверхъ, сквозь отверстіе въ чугунной доскѣ, которая устроена съ закругленными краями на подобіе колокола и оттуда къ вагонамъ; свободная часть цѣпи принимается углубленіемъ въ каменномъ фундаментѣ кабестана. Напорная вода проведена сквозь одинъ изъ шпиль *L'* чугунной доски, къ движущимъ прессамъ и проходитъ черезъ кранъ *K*, который дѣйствіемъ рычага *H* открывается или закрывается; этимъ же дѣйствіемъ происходитъ одновременно прижатіе или отжатіе отъ цѣпи рычага *C* в ролика *D*. Огработанная вода отводится сквозь другой шпиль чугунной доски.

Золотники, для распредѣленія напорной воды, расположены какъ обыкновенно, въ шпахъ прессовъ.

Когда клапанъ *K* закрытъ, то одновременно съ этимъ отжимается рычагъ *C* и освобождаетъ цѣпь, которая не будучи уже прижата къ кулачному колесу, свободно можетъ быть вытянута.

Эти оба описанные кабестана требуютъ вообще небольшихъ и не дорогихъ каменныхъ основаній.

## V. Разсыпка угля въ трюмъ судна.

При исправной нагрузкѣ судна углемъ требуется особое вниманіе для разсыпки его въ трюмъ, дабы онъ при этомъ не измельчался.

Разсыпка угля въ трюмъ судна производится въ Англии вообще посторонними рабочими, а не при посредствѣ команды судна; рабочіе эти приучаются специально къ этой работѣ, они подъ надзоромъ особаго десятника и при помощи тачекъ, катальныхъ досокъ, лопатъ и грабелей разравниваютъ уголь въ трюмъ. Работа эта всегда оплачивается задѣльно, ибо рабочіе при этомъ стремятся исполнить ее какъ можно быстрѣе, къ ускоренію работы способствуетъ еще и угольная пыль, которая сильно развѣвается въ трюмъ судна и затрудняетъ работу.

При разравниваніи угля въ трюмъ, онъ сильно измельчается, въ особенности мягкія породы, почему предложены во избѣжаніе сего всякія мѣры. Предохраненіе угля отъ измельченія еще тѣмъ важно, что мелкій уголь цѣпится значительно ниже крупнаго.

Для болѣ легкой разсыпки угля въ трюмѣ судна, укладывали на образующейся подъ люкомъ конической кучѣ угля, систему тонкихъ желѣзныхъ полосъ длянною въ 3 п ширною въ 1 метръ. Полосы эти наклонно уложенныя представляютъ углю меньше тренія, а потому и облегчаютъ разсыпку и предотвращаютъ измельченіе его. Для того чтобы полосы эти не были вовсе засыпаны углемъ, онѣ у вершины угольнаго конуса связываются вмѣстѣ общою цѣпью и отъ времени до времени, по мѣрѣ наполненія трюма углемъ, полосы эти вынимаются (поднимая ихъ крапомъ) и укладываются снова на поверхности угля, въ трюмѣ.

Для этой же цѣли служить также воронка Хентера (Charles Hunter) описанная выше. Ею достигается лучшее распредѣленіе угля въ трюмѣ судна.

Для этой же цѣли употребляются нерѣдко наклонные желоба.

На подобіе воронки Хентера употребляется также, предложенный Джономъ Прейсомъ (John Price) желѣзный конусъ подвѣшиваемый въ трюмѣ надъ люкомъ и снабженный на своей поверхности клапанами по направленію длины трюма, которые будучи соответственно подняты способствуютъ болѣе правильной разсыпкѣ угля.

На многихъ угольныхъ судахъ имѣются въ трюмахъ бадьи, подвѣшиваемыя роликами на подвѣсныхъ рельсахъ, помощію которыхъ уголь принимаемый у люка, можетъ быть въ трюмѣ судна высыпанъ въ произвольномъ мѣстѣ.

## VI. Общее заключеніе и предположенія для устройства приспособленій для загрузки каменнаго угля на континентѣ.

На основаніи вышеприведеннаго, остается отвѣтить на вопросъ, какое изъ вышеописанныхъ приспособленій можетъ служить образцомъ для примѣненія къ нашимъ каменноугольнымъ портамъ.

При описаніи приспособленій, устроенныхъ въ Ньюкэстлѣ и Сундерландѣ указано было уже на то, что примѣненіе ихъ къ сѣвернымъ и нашимъ каменноугольнымъ портамъ не пригодно по слѣдующимъ причинамъ.

1) Относительная высота железнодорожных путей и поверхности набережной совершенно иное чѣмъ у насъ.

2) Вагоны англійскіе почти безъ исключенія снабжены створчатыми днищами.

Равнымъ образомъ не могутъ быть примѣняемы углеподъемы съ противувѣсами какъ это устроено въ Пенартѣ, Гарстонѣ и въ старыхъ Кардиффскихъ докахъ, ибо эти приспособленія, какъ указано выше, работаютъ во многихъ мѣстахъ такъ успѣшно, что требуютъ устройства путей на высокихъ насыпяхъ, для подачи вагоновъ, условіе которое помимо большихъ прямыхъ затратъ требуетъ большой площади портовой территоріи, чего нѣтъ ни въ Маріуполѣ, ни въ Потѣ, ни въ Батумѣ.

Далѣе, съ примѣненіемъ въ Новыхъ Кардиффскихъ докахъ (Roath Basin) установленныхъ углеподъемовъ, требующихъ одновременной установки крановъ для возможности грузки разомъ въ нѣсколько люковъ, пришлось бы затратить слишкомъ большія суммы на первоначальное устройство, что не соответствуетъ размѣрамъ отпуска нашего угля теперь и даже въ далекомъ будущемъ.

Для грузки угля ящиками какъ въ Ливерпульѣ требуется близость порта къ косямъ, а такъ какъ наши порты далеко отъ нихъ удалены, то этотъ способъ долженъ быть оставленъ, такъ какъ обратная отправка ящиковъ возвышаетъ значительно стоимость грузки.

Затѣмъ могутъ быть приняты во вниманіе слѣдующія приспособленія:

1) Паровые краны съ приспособленіемъ для опоражниванія цѣлыхъ вагоновъ какъ это устроено при старыхъ Глазгоскихъ набережныхъ и въ Хуллѣ, а также въ Royal Albert dock'ѣ въ Лондонѣ.

2) Гидравлическіе поворотные краны какъ это устроено въ Новомъ портѣ въ Глазго и въ Липерпульѣ.

3) Гидравлическіе углеподъемы различныхъ системъ и устройствъ. Выборъ поворотныхъ крановъ представляетъ то преимущество, что кранъ въ случаѣ прекращенія грузки угля можетъ быть употребленъ для другихъ цѣлей. Однако нельзя все-таки остановиться на этомъ выборѣ.

На сколько намъ извѣстно, работа крановъ медленнѣе углеподъемовъ и предохраненіе угля отъ измельченія не достигается въ желаемой степени, а равнымъ образомъ нельзя отдѣлить мелкій уголь

отъ крупнаго, что при дальности перевозки его можетъ оказаться необходимымъ. По сему казалось бы наиболѣе цѣлесообразнымъ примѣнить лишь гидравлическіе углеподъемы и по условіямъ грунта въ Маріуполѣ, Потп и Батумѣ, слѣдуетъ эти подъемы устраивать безъ глубоко вкопанныхъ въ землю гидравлическихъ прессовъ, а по шипу Брауна въ Кардиффѣ или по шипу Армстронга въ Роммердомѣ.

Если условія почвы на мѣстѣ установки углеподъемовъ, будутъ благопріятны, то можно было бы съ пользою примѣнить обыкновенный углеподъемъ Армстронга съ прессомъ расположеннымъ непосредственно подъ платформю и послѣднюю надлежащимъ образомъ уравнивать.

При этомъ для опредѣленія размѣровъ углеподъема, главнымъ образомъ платформы, необходимо принять во вниманіе размѣры напихъ угольныхъ вагоновъ и потому размѣры эти будутъ отличны отъ размѣровъ англійскихъ.

Для укладки путей наиболѣе цѣлесообразно принять систему, примѣненную въ Ньюпортѣ, Сванси, Биркенхэдѣ и Хуллѣ съ поднятыми путями для отката порожнихъ вагоновъ, для такихъ мѣсть, гдѣ по мѣстнымъ условіямъ это возможно.

Если на портовой площади нѣтъ достаточно мѣста для предлагаемаго расположенія путей, то слѣдуетъ примѣнить расположеніе, устроенное въ Пенартѣ или при еще болѣе стѣсненной портовой площади, пути слѣдуетъ расположить какъ это сдѣлано въ Ливерпульѣ, въ Бралей-Муръ докѣ или въ Глазго, въ Queens dock. При этомъ возможна наиболѣе цѣлесообразная эксплуатація путей и углеподъемовъ, при отпускѣ изъ порта каменнаго угля.

## VII. Маріупольскій портъ.

### 1) Выборъ системы приспособленій для нагрузки угля на суда.

До настоящаго времени каменнаго угля изъ Маріуполя почти не вывозилось \*), стоимость перегрузки угля съ желѣзной дороги

\*) Отпускаютъ уголь въ незначительномъ количествѣ только въ Ростовъ и Таганрогъ; въ 1882 г. изъ Таганрога было отправлено 3.400.000 пуд. угля, а изъ Ростова 2.870.000 пуд. антрацита.

на морскія суда, вслѣдствіе неустройства порта, обходится не мѣнѣе 2 коп. и даже 3 коп. съ пуда, т. е. достигаетъ  $\frac{1}{3}$  стоимости угля, доставленнаго по желѣзной дорогѣ въ Мариуполь \*).

Уголь, какъ и прочіе грузы, для отправки изъ Мариуполя, долженъ нынѣ, въ устьи рѣки Кальміуса, нагружаться на мелкія перевозныя суда и на нихъ уже доставляться на морскія суда, останавливающіяся на открытомъ Мариупольскомъ рейдѣ.

Оканчиваемый нынѣ постройкою Мариупольскій портъ (на Зинцевой балкѣ) представляетъ обширную, огражденную молами, водную площадь въ 270.000 квадрат. саж., углубленную до 14 фут., т. е. до глубины вполне достаточной для каботажнаго судоходства \*\*).

Со стороны берега водная площадь эта ограждена набережною для причала судовъ, протяженіемъ 400 пог. саж. и мощнымъ спускомъ, протяженіемъ 55 пог. саж. (для вытаскиванія на берегъ лодокъ, небольшихъ каботажныхъ судовъ и лѣса). Набережная каменная, на свайномъ основаніи; глубина передъ нею таже, что и по всему порту—14 ф. отъ ординара; возвышается набережная надъ ординаромъ на 7 ф. За набережною находится портовая территория той же высоты надъ уровнемъ воды, шириною отъ 75 до 175 саж. \*\*\*).

Упомянутыя 400 пог. саж. набережныхъ не всѣ однако могутъ быть отведены для нагрузки угля: ближайшія 50 пог. саж. отъ восточнаго мола предоставляются таможнѣ для выгрузки привозныхъ товаровъ, затѣмъ 70 саж. назначаются для срочныхъ грузовыхъ и пассажирскихъ пароходовъ, 135 саж. для хлѣбныхъ и другихъ (не угольныхъ) грузовъ и, наконецъ, остальные 145 пог. саж., прими-

\*) Донецкій каменный уголь можетъ быть въ настоящее время доставленъ въ Мариуполь по 9—9 $\frac{1}{2}$  коп. за пудъ. (М. Лисовскій.— „Мариупольскій портъ“, 1888 г. стр. 36).

\*\*) Осадка существующихъ каботажныхъ судовъ въ рѣдкихъ случаяхъ превышаетъ 10 футъ. Въ настоящее время существуютъ паровыя баржи Русскаго Общества Пароходства и Торговли, поднимающія до 38.000 пудовъ угля при осадкѣ 9 $\frac{1}{2}$  ф. 14-ти футовая глубина порта даетъ возможность выработать типы паровыхъ баржъ которыя будутъ поднимать до 50.000 пудовъ угля и имѣть хорошія морскія качества для плаванія по Черному морю. (Лисовскій.— „Мариупольскій портъ“ стр. 25).

\*\*\*) Дальнѣйшее, въ случаѣ надобности, развитіе линіи причала судовъ въ портѣ предположено достигнуть устройствомъ выступающихъ отъ берега внутреннихъ молъ или пристаней и пристройкой къ западному молу порта; этимъ способомъ можно увеличить протяженіе набережныхъ болѣе чѣмъ на 1.000 пог. саж.

кающія къ западному молу, имѣется ввиду предоставить специально для отпуска каменнаго угля. Черт. 60 листъ 21.

При обсужденіи въ Министерствѣ Путей Сообщенія вопроса о системѣ оборудованія набережныхъ для отпуска угля, какъ члены коммисіи по устройству коммерческихъ портовъ, такъ и представители Департамента Желѣзныхъ дорогъ и Общества Донецкой желѣзной дороги единогласно высказались за устройство *механическихъ* приспособленій для непосредственной нагрузки угля *изъ вагоновъ въ морскія суда*. Такое заключеніе вызвано было какъ дороговизною ручной нагрузки и трудностью имѣть въ рабочее время въ Мариуполѣ всегда достаточное количество рабочихъ рукъ, такъ, главнымъ образомъ, тѣмъ соображеніемъ, что при *медленности* ручной нагрузки, сравнительно съ механическою, грузооборотъ набережныхъ, предоставленныхъ отпуску угля, оказался бы значительно ниже возможнаго своего предѣла, вслѣдствіе чего, въ ближайшемъ же будущемъ, потребовались бы новыя значительныя затраты казны на увеличеніе линіи причала судовъ. Вместе съ тѣмъ, однако, признавалось, что безъ устройства *складовъ угля* на портовой территоріи также обойтись нельзя, такъ какъ, особенно на первое время, трудно ожидать, чтобы всегда подходъ вагоновъ совпадалъ съ приходомъ морскаго судна.

Въ случаѣ же невозможности держать груженные вагоны въ портѣ до ихъ выгрузки на судно, по необходимости придется выгружать уголь изъ вагоновъ на портовую территорію, откуда уже перегружать его на судно. Для этого на портовой территоріи должно быть столько достаточно открытых, спланированныхъ и утрамбованныхъ глиной, площадей, съ разгрузочными къ нимъ рельсовыми путями \*).

Что касается затѣмъ до выбора *системы* механическихъ приспособленій, то, какъ то выше было пояснено, наиболѣе быстрый и простой способъ—это принятый въ портахъ Ньюкэстльскаго района, способъ выгрузки вагоновъ на высокихъ эстакадахъ, гдѣ уголь, по

\*) Нагрузка судовъ углемъ изъ этихъ складовъ производится уже будетъ ручнымъ способомъ: тачкамъ, обыкновенными кранами съ бадьями и т. п. Въ этомъ случаѣ для удешевленія погрузки угля уже много достигнуто тѣмъ, что глубоко спящее каботажное судно можетъ быть подано къ набережной въ непосредственномъ соосѣдствіи съ угольными складами.

открытіи *ствоорчатого* дна вагона, сыплется изъ вагона, черезъ вертикальную трубу и подставленный желобъ, прямо въ трюмъ судна. Въ Маріуполѣ, однако, прилегающая къ набережной портовая территория, насыпная, возвышается всего около одной сажени надъ уровнемъ воды; здѣсь пришлось бы поэтому всё пути для подачи и сборки вагоновъ (пути эти всё должны быть высокаго уровня) устраивать, съ значительными затратами, на искусственныхъ насыпяхъ и эстакадахъ. Независимо сего, примѣненіе указаннаго способа въ Маріуполѣ оказывается (какъ на то указалъ представитель Общества Донецкой жел. дороги) совершенно невозможнымъ по требуемой для этой конструкціи вагоновъ—ввидѣ усѣченныхъ, обращенныхъ вершиною внизъ, пирамидъ, съ открывающимися днщами. Передѣлка для этой цѣли существующихъ на дорогѣ угольныхъ вагоновъ немыслима, пришлось бы заказать вновь отъ 600 до 700 вагоновъ, стоящихъ не менѣе 600 руб. каждый. Притомъ эти спеціальныя вагоны не могли бы быть употребляемы въ прямомъ сообщеніи съ другими дорогамъ; поэтому въ зимнее время, по закрытіи навигаціи, когда вся перевозка угля направится на сѣверъ, эти спеціальныя вагоны были бы обречены на бездѣйствіе \*).

Приведенныя соображенія послужили къ тому, что Министерство пут. сооб. *остановилось на предположеніи* заказать для *Маріупольскаго порта* углеподъемы подобныя употребляемымъ въ *Кардиффскомъ районѣ*. Не требуя непременно путей высокаго уровня, углеподъемы эти требуютъ лишь, чтобы угольные вагоны снабжены были откиднымъ переднимъ стѣнкомъ, съ шарнирами на верхней части стѣнокъ. Такое приспособленіе на существующихъ вагонахъ легко можетъ быть сдѣлано, и вагоны эти въ ненавигационное время, могутъ быть въ постоянномъ движеніи въ прямомъ сообщеніи съ другими дорогамъ, въ то именно время, когда требованіе на отправку угля на сѣверъ бываетъ особенно значительно.

Рѣшено было заказать на первое время *два* гидравлическія углеподъема съ другимъ, требуемымъ для подачи вагоновъ, механизмамъ.

---

\*) Упомянулось еще о возможности устроить эстакады съ разгрузными желобами, не передвигая вагоновъ; въ этомъ случаѣ уголь изъ обыкновенныхъ вагоновъ выгружался бы въ желоба *въ ручную*. Но вызывая расходы на устройство эстакады, способъ этотъ не устранялъ-бы медленности ручной погрузки угля на суда.

Что же касается до движущих механизмовъ (паровая машина, насосы, аккумулятеры) то ихъ предполагено было поставить съ расчетомъ на дѣйствіе прѣмѣрно 4-хъ углеподъемовъ, 7 крановъ по 2 тонны подъемной силы и 12-ти кабестановъ.

## 2) Заказъ приспособленій въ Англіи.

Приспособленія гидравлической системы въ русскихъ портахъ употребляемы до сего времени не были; что же касается до подобныхъ приспособленій, собственно для нагрузки угля на суда, то такіа приспособленія и въ Западной Европѣ, за исключеніемъ Англіи, малоизвѣстны. Въ виду этого, заказъ для Мариупольскаго порта рѣшено было произвести въ Англіи, на одномъ изъ заводовъ, специально изготовляющихъ подобныя механизмы. Выборъ завода, а также окончательное установленіе системы заказываемыхъ приспособленій, предоставлены были командированнымъ для сего въ Англію лицамъ\*).

Выборъ завода облегчился тѣмъ, что какъ оказалось, въ этомъ дѣлѣ занимаетъ совершенно исключительное положеніе упомянутый уже извѣстный заводъ Армстронга въ Ньюкастлѣ на Тайнѣ (Sir W. G. Armstrong, Mitchell & Co). Заводъ этотъ ввелъ эти приспособленія въ употребленіе и постепенно ихъ усовершенствовалъ; онъ построилъ уже сотни подобныхъ приспособленій для разныхъ англійскихъ портовъ; заводъ этотъ потому имѣетъ и огромную опытность въ этомъ дѣлѣ и прекрасно разработанныя на практикѣ детали механизмовъ. Ни одинъ изъ прочихъ заводовъ не представляетъ чего либо подобнаго: заводы эти изготовляли лишь самое незначительное число гидравлическихъ приспособленій для нагрузки угля, и притомъ по большей части для такихъ портовъ, гдѣ существовали уже Армстронговскіе углеподъемы, и гдѣ мѣстные инженеры знакомы были уже на практикѣ съ дѣйствіемъ подобныхъ механизмовъ и потому могли исправить на мѣстѣ могущія оказаться въ нихъ недостатки. Для русскаго же порта, гдѣ приспособленія эти вводятся впервые, очевидно, для надлежащей увѣренности въ успѣшномъ ихъ дѣйствіи, было предпочтительнымъ имѣть дѣло съ первымъ въ этомъ дѣлѣ заводомъ—съ Армстронгомъ, которому и сдѣланъ былъ посему заказъ,

\*) Инженерамъ Лисовскому и Вознесенскому.

Что касается до системы углеподъема, то первоначально казалось предпочтительнѣе остановиться на передвижныхъ углеподъемахъ. Тогда дѣлалось бы ненужнымъ устройство особыхъ основаній подъ углеподъемы; углеподъемы могли бы быть располагаемы, смотря по величинѣ нагружаемыхъ судовъ, на произвольномъ разстояніи другъ отъ друга; наконецъ возможна была бы и нагрузка судовъ одновременно въ два люка. Отъ этого предположенія пришлось однако отказаться, такъ какъ по переговорамъ съ заводомъ выяснилось, что до сего времени не выработано еще удовлетворительнаго типа передвижныхъ углеподъемовъ; немногіе существующіе углеподъемы такого рода устроены еще въ видѣ опыта; передвижные углеподъемы обошлись бы дороже постоянныхъ, примѣрно на 10.000 рублей каждый. Между тѣмъ, при личномъ осмотрѣ угольныхъ портовъ Англійи выяснилось, что передвижные углеподъемы теперь стали устранивать лишь *въ дополненіе* къ постояннымъ, и притомъ въ портахъ съ огромнымъ движеніемъ, съ пѣлюю ускоренія нагрузки судовъ самыхъ большихъ размѣровъ. Для Маріупольскаго же порта вполне достаточно будетъ и той быстроты нагрузки, которой можно достигнуть постоянными углеподъемами \*).

Остановившись на заказѣ постоянныхъ углеподъемовъ, нельзя было однако избрать для Маріуполя тотъ обыкновенный Кардиффскій типъ, гдѣ подъемная платформа прямо насажена на конецъ ныряла вертикальнаго подъемнаго пресса. Конструкція принятыхъ въ Маріуполѣ набережныхъ съ подводнымъ свайнымъ основаніемъ не допускаетъ устройства глубокаго колодца для подъемнаго пресса; пришлось бы подъ углеподъемы устранивать особыя дорогія основанія: кесонныя или на опускныхъ колодцахъ. Это заставило принять

---

\* Какъ изложено выше, мѣстные Кардиффскіе инженеры считаютъ нормальную *суточную* погрузную способность одного постояннаго углеподъема въ 1.000 тоннъ (болѣе 60.000 пудовъ), а въ отдѣльныхъ случаяхъ и гораздо больше. Въ Маріуполѣ, согласно упомянутому выше, нельзя ожидать прихода судовъ, поднимающихъ болѣе 50.000—60.000 пудовъ угля; суда большей величины придется догружать на рейдѣ изъ лихтеровъ. Такимъ образомъ *всѣмъ судамъ здѣсь можетъ быть нагружено у набережныхъ въ теченіи сутокъ*—результатъ вполнѣ достаточный. Нельзя не забыть еще что въ англійскихъ портахъ, гдѣ суда могутъ входить и выходить лишь 2 раза въ сутки, во время прилива, терлется много времени на вводъ судна въ докъ и выводъ изъ него, что въ Маріуполѣ совсѣмъ не имѣетъ мѣста.

систему, примененную въ послѣднее время Армстронгомъ въ Роттердамѣ, гдѣ всѣ гидравлическіе механизмы помѣщены *надъ* уровнемъ набережной, а подъемная платформа подвѣшена на цѣпяхъ \*). Эта система въ нашемъ климатѣ тѣмъ удобнѣе еще, что всѣ гидравлическіе прессы помѣщаются въ одномъ мѣстѣ, съ боку башни углеподъема, и заключаются обыкновенно въ одну общую высокую деревянную трубу; это позволяетъ принять всѣ возможныя мѣры противъ морозовъ.

### 3) Описаніе заказанныхъ приспособленій. Условія заказа.

Общій видъ заказаннаго для Маріупольскаго порта углеподъема изображенъ на листѣ 14-омъ. На листахъ же 13-омъ и 15—19 показано болѣе подробно устройство башни и желоба. Башня углеподъема желѣзная, составленная изъ 6-ти вертикальныхъ стоекъ: 4-хъ угловыхъ и 2-хъ среднихъ. Угловыя стойки въ передней и задней плоскостяхъ башни \*\*) подперты подкосами. Стойки и подкосы приведены въ общую систему горизонтальными и наклонными связями. Нижнія части стоекъ и подкосовъ прикрѣпляются къ общему каменному фундаменту помощью чугунныхъ башмаковъ и желѣзныхъ фундаментныхъ болтовъ. Ширина башни по фасаду, между центрами переднихъ угловыхъ стоекъ (центрами фундаментныхъ болтовъ) равна 13 фут. 8 дюйм.; полная ширина по фасаду между основаніями боковыхъ подкосовъ составляетъ 39 ф. Длина башни, между центрами переднихъ и заднихъ угловыхъ стоекъ, равна 21 фут. 11 дюйм. Полная высота башни надъ верхнею поверхностью основанія 56 ф. 6 дюйм.; подъемная платформа можетъ быть поднята надъ тѣмъ же уровнемъ до 30 ф. \*\*\*).

\*) По этому же принципу устроены углеподъемъ Броуна въ Кардиффѣ и подвижной углеподъемъ тамъ же.

\*\*) *Передней* стороною башни называется здѣсь вездѣ сторона башни, обращенная къ линіи набережной; *заднюю* стороною—противоположная плоскость.

\*\*\*) Верхнюю поверхность основанія углеподъема, для сообщенія основанію этому большаго вѣса, рѣшено было потомъ поднять до 1,20 саж. надъ ординарнымъ горизонтомъ воды (верхняя поверхность набережной возвышается надъ тѣмъ же горизонтомъ лишь на 1 саж.). Такимъ образомъ высота подъема платформы надъ уровнемъ воды равна  $5\frac{1}{2}$  саж., а полная высота башни надъ тѣмъ же уровнемъ—9,27 саж.

Подъемная платформа желѣзная; это собственно „люлька“ (cradle), состоящая изъ двухъ боковыхъ треугольныхъ рамъ, соединенныхъ неподвижно поперечными балками внизу и въ вершинѣ треугольниковъ; въ вершинахъ же этихъ треугольниковъ къ боковымъ рамамъ платформы прикрѣплены концы двухъ главныхъ подъемныхъ цѣпей, спускающихся съ блоковъ, установленныхъ на вершинѣ башни. Къ среднимъ стойкамъ башни, съ внутренней ихъ стороны, прикрѣплены помощью болтовъ, два вертикальныхъ деревянныхъ бруса, съ желѣзными, по угламъ уголками, прикрѣпленными къ дереву помощью винтовъ. Эти брусья служатъ направляющими для платформы, при ея подъемѣ и опусканіи. Средняя часть подъемной платформы съ рельсами, на которыхъ устанавливается вагонъ, образуетъ отдѣльную раму, задній конецъ которой можетъ подниматься, вращеніемъ рамы около горизонтальной осп, параллельной линіи набережной; ось вращенія расположена въ передней части подъемной платформы. Для поднятія задней части этой „опрокидывающей рамы“, къ этой части прикрѣплены концы двухъ „опрокидывающихъ“ цѣпей (tipping chains), спускающихся съ блоковъ, расположенныхъ также на вершинѣ башни.

Съ боку башни, листъ 14, черт. 49, съ наружной ея стороны, противъ средней стойки помѣщены вертикально, три гидравлическихъ прессы, служащихъ для подъема и наклона платформы \*). Прессы эти прикрѣплены къ одному общему основанію. Пара нижнихъ прессовъ, поставленныхъ параллельно бокъ-о-бокъ, служатъ собственно для подъема и опусканія платформы; нырля этихъ прессовъ выдвигаются изъ прессовъ по направленію сверху внизъ. Нижніе, выступающіе внаружу, концы этихъ нырля соединены вмѣстѣ; къ общему ихъ концу прикрѣплено, на одной общей осп, четыре блока. Верхній прессъ (опрокидывающій) служитъ для наклона платформы; нырля его выдвигается изъ прессы по направленію снизу вверхъ. На верхнемъ выступающемъ внаружу концѣ этого нырля, укрѣплено два блока, посаженные на одной осп и нѣсколько раздвинутые другъ отъ друга.

Къ нырлямъ этихъ прессовъ цѣпи отъ платформы проведены

\*) Четвертый, показанный на чертежѣ внизу слѣва, вертикальный прессъ служитъ для вспомогательнаго крана—для подъема и опусканія баблѣ.

слѣдующимъ образомъ: двѣ *подъемныя* цѣпи отъ боковыхъ (треугольных) рамъ подъемной платформы идутъ вверхъ къ большимъ неподвижнымъ блокамъ на вершинѣ башни; оттуда опускаются внизъ, обходятъ вокругъ двухъ *среднихъ* подвижныхъ блоковъ, укрѣпленныхъ внизу къ ныряламъ подъемныхъ прессовъ, и затѣмъ прикрепляются неподвижно къ основанію прессовъ. Двѣ „*опрокидывающія*“ цѣпи, укрѣпленные къ задней части платформы (къ вращающейся ея рамѣ), поднимаются вверхъ, обходятъ меньшіе неподвижные блоки на вершинѣ башни, затѣмъ опускаются внизъ, обходятъ вокругъ двухъ *крайнихъ* подвижныхъ блоковъ, прикрепленныхъ внизу къ ныряламъ подъемныхъ прессовъ, потомъ идутъ снова вверхъ и обойдя вокругъ двухъ подвижныхъ блоковъ, прикрепленныхъ сверху къ нырялу верхняго (опрокидывающаго) пресса, прикрепляются наконецъ неподвижно къ основанію прессовъ.

Дѣйствіе этихъ прессовъ таково: сначала выдвигаются (внизъ) соединенныя между собою ныряла двухъ подъемныхъ прессовъ. Всѣ четыре цѣпи укорачиваются тогда одинаково и платформа поднимается на требуемую высоту. Тогда остановивъ ныряла подъемныхъ прессовъ, начинаютъ выдвигать ныряло верхняго опрокидывающаго пресса; подъемныя цѣпи (среднія) остаются тогда въ прежнемъ положеніи, а опрокидывающія цѣпи (крайнія) еще болѣе укорачиваются, и задній конецъ опрокидывающей рамы приподнимается; вагонъ будетъ при этомъ наклоненъ, примѣрно на 45°. Опусканіе подъемной платформы производится въ обратномъ порядкѣ: сначала вдвигается ныряло опрокидывающаго пресса, и рама приходитъ снова въ горизонтальное положеніе; затѣмъ вдвигаются ныряла подъемныхъ прессовъ, и вся платформа опускается до уровня набережной.

Какъ только что описано, здѣсь вмѣсто одного подъемнаго пресса, имѣется пара параллельныхъ прессовъ, съ соединенными нырялами. Такое устройство вызвано желаніемъ уменьшить расходъ напорной воды, при работѣ угледокопа. Одинъ изъ этихъ прессовъ находится въ *постоянномъ сообщеніи* съ напорною водою; давленіе воды на ныряло этого пресса уравновѣшивается собственнымъ вѣсомъ подъемной платформы. Другой же подъемный прессъ сообщается съ напорною водою лишь тогда, когда платформу поднимаютъ; давленіе воды на ныряло этого послѣдняго пресса должно, очевидно, пересплнить вѣсъ вагона съ грузомъ. Когда же подъемную платформу надо спу-

стить, закрывают впускной клапанъ и воду изъ этого пресса выпускаютъ внаружу. Тогда подъемная платформа, дѣйствіемъ вѣса порожняго вагона, опускается. При такомъ устройствѣ теряется, такимъ образомъ, при каждомъ подъемѣ лишь тотъ объемъ напорной воды, который заключается во второмъ подъемномъ прессѣ \*).

Всѣ упомянутые прессы, какъ уже упомянуто, предположено заключить въ вертикальную деревянную трубу, для предохраненія отъ морозовъ. Вверху этой трубы, съ боку башни, на особыхъ кронштейнахъ устанавливается деревянная же будка съ окнами для рабочаго, управляющаго дѣйствіемъ всего прибора. Въ эту будку проведены рычаги отъ всѣхъ клапановъ гидравлическихъ механизмовъ. Листъ 18 черт. 56. Подъемный механизмъ рассчитанъ на подъемъ всего 18 тоннъ (считая здѣсь вѣсъ вагона и погруженнаго въ него угля).

*Желобъ* углеподъема дѣлается желѣзнымъ, длиной 26½ ф. и шириною въ верхнемъ концѣ 12 ф., а въ нижнемъ 6½ ф. Черт. 57, листъ 19; въ нижнемъ концѣ желоба устроены въспѣія, на цѣпяхъ, дверцы для регулированія движенія угля. Для поддержанія верхняго конца желоба, къ переднимъ стойкамъ башни, съ внутренней ихъ стороны, прикрѣпляются болтами два вертикальныхъ деревянныхъ бруса; къ брусамъ этимъ придѣланы помощью винтовъ чугуныя зубчатая рейки. Въ эти рейки упираются собачки, прикрѣпленныя къ верхнему концу лотка; собачки эти удерживаются на своихъ мѣстахъ рычагами съ противовѣсамъ. Нижний конецъ желоба поддерживается двумя цѣпями, проведенными чрезъ блоки на вершинѣ башни. Установка желоба въ требуемомъ положеніи производится соответственнымъ поднятіемъ или опусканіемъ главной подъемной платформы \*\*).

*Предохранительный кранъ* (antibreakage crane) устанавливается вверху, на одной сторонѣ башни. Стрѣла и стойка этого крана желѣзныя; вылетъ крана можетъ измѣняться отъ maximum'a въ 25 ф. до minimum'a въ 12 ф. Подъемъ и опусканіе бады производится упомянутымъ уже вертикальнымъ гидравлическимъ прессомъ, постав-

\*) Сверхъ того, очевидно, расходуется объемъ напорной воды, заключающійся въ оприводывающемъ прессѣ.

\*\*) Способъ установки желоба подробно объясненъ былъ выше при описаніи Кардиффскихъ углеподъемовъ.

леннымъ выпзу съ боку башни. Подъемная сила крана рассчитана на 1,33 тонны (83 пуд.). Поворотъ крана производится также гидравлическою силою, помощью пары маленькыхъ горизонтальныхъ прессовъ. Желѣзная угольная бадья имѣеть внутреннюю вмѣстимость съ 35 куб. футъ.

Предположено было какъ уже упомянуто, заказать заводу Армстронга два такихъ углеподъема. Ввиду однако возможности построить желѣзную башню для втораго углеподъема въ Россіи, имѣя уже передъ глазами для образца одну такую башню, рѣшено было заказать въ Англіи лишь одинъ полный углеподъемъ, для втораго же углеподъема заказать только спеціальныя механизмы, безъ башни и желоба \*).

Кромѣ этихъ двухъ углеподъемовъ, заказано было еще:

а) 5 гидравлическихъ кабестановъ для передвиженія вагоновъ, съ основаніями въ видѣ чугунныхъ ящачковъ; движущая сила каждаго кабестана равна 1 тоннѣ. Черт. 47 листъ 12.

б) 11 направляющихъ блоковъ или роликковъ (snatch heads or guide rollers) для употребленія въ соединеніи съ кабестанами; черт. 59 листъ 20.

в) 2 поворотныхъ круга (вагонныхъ), діаметромъ 16 фут., съ пересекающимися подъ прямымъ угломъ путями, съ желѣзнымъ покрытиемъ и съ ограждающими чугунными стѣнками;

г) 1 паровой насосъ съ машиною compound, безъ холодильника, около 100 индикаторныхъ силъ, паровая машина (горизонтальная) имѣеть цилиндръ высокаго давленія діаметромъ 17 дюйм. при ходѣ поршня въ 20 дюйм. и цилиндръ низкаго давленія діаметромъ  $29\frac{3}{4}$  дюйма съ ходомъ поршня въ 20 дюйм.; съ машиною соединены два пагнетательныхъ насоса двойнаго дѣйствія; при этомъ имѣется еще паровая донка для поднятія воды, отработавшей въ гидравлическихъ

---

\*) Согласно заключеннаго контракта, заводъ Армстронга для втораго углеподъема обязался поставить: подъемную платформу, опровидывающую раму, подъемный и опрокидывающій механизмы, клапаны, рычаги отъ клапановъ, шпини, вспомогательный кранъ со стрѣлою, стойкою, подъемнымъ и поворотнымъ механизмами и угольную бадью, желѣзныя направляющія для платформы, чугуныя зубчатая рейки для желоба, цѣпи, затворы и блоки для желоба, также собачки для поддержанія верхняго конца желоба—но не включая самого желоба и башни.

механизмахъ, нѣз колодца, находящагося снаружи машиннаго зданія въ бакъ;

д) 1 стальной котель Ланкастерскаго типа діаметромъ 7 ф. и длиною 27 ф., приспособленный для рабочаго давленія въ 90 фунтовъ на кв. дюймъ, со всѣми потребными приборами; при котлѣ питательный аппаратъ и бакъ съ двумя отдѣленіями: одно на 1000 галлоновъ (369 ведеръ=160 куб. фут.) воды для питанія нагнетательныхъ насосовъ, и другое на 1200 галлоновъ (443 ведра=192 куб. фута) для питанія котла;

е) 1 аккумуляторъ съ вырломъ діаметромъ 17 дюйм. и съ ходомъ въ 17 фут., съ желѣзнымъ ящикомъ для помѣщенія булыжнаго камня или гравія, въ количествѣ, необходимомъ для полученія въ напорныхъ трубахъ требуемаго давленія въ 700 фунтовъ на квадрат. дюймъ (46 атмосферъ);

и ж) всѣ трубы, клапаны и другія принадлежности, которыя потребны для установки *внутри стѣнъ машиннаго зданія* (въ которомъ помѣщены будутъ паровая машина, котель и аккумуляторъ), включая и самодѣйствующій аппаратъ для регулированія дѣйствія машины на аккумуляторъ; также затворные клапаны для напорной и возвратной \*) воды, которые должны быть поставлены у каждаго угленодъема и кабестана независимо отъ обыкновенныхъ рабочихъ клапановъ.

Контрактная цѣна за перечисленные механизмы (1 полный и 1 неполный угленодъемъ со всѣми, перечисленными въ *ит. а—ж* приспособленіями), съ упаковкою и сдачею въ Ньюкэстлѣ у завода на бортъ корабля, обусловлена была по заключенному съ фирмою Армстронгъ  $\frac{26 \text{ Июля}}{7 \text{ Августа}}$  1888 г. контракту въ 7.600 фунтовъ (около 76.000 рублей кредит.). Расходы же по доставкѣ заказанныхъ предметовъ въ Россію, на уплату таможенныхъ пошлинъ при ввозѣ предметовъ въ Россію, а равно и на сборку механизмовъ на мѣстѣ въ Мариуполѣ—приняты на счетъ казны.

Независимо перечисленныхъ предметовъ, заводъ Армстронга по тому же контракту обязался поставить, въ потребномъ количествѣ, но особо договореннымъ единичнымъ цѣпамъ, напорныя трубы отъ

\*) О трубахъ для возвратной воды пояснено будетъ ниже.

машиннаго зданія къ углеподъемамъ, а также всѣ другія трубы, которыя потребовалось бы уложить вдоль набережныхъ для дѣйствія другихъ гидравлическихъ механизмовъ, съ развѣтвленіями къ кабестанамъ, со всѣми необходимыми рукавами, колѣнами и другими частями неправильной формы, затворными, предохранительными и промывными клапанами и гидрантами (на случай постановки передвижныхъ гидравлическихъ крановъ \*), а также и трубы для возвратной воды \*\*). Стоимость всѣхъ этихъ предметовъ, какъ нынѣ выяснилось \*\*\*) , составляетъ до 1575 фунтовъ (также съ сдѣлою на бортъ корабля, въ Ньюкэстлѣ, у завода); такимъ образомъ *общая контрактная стоимость заказа составляетъ*  $7600 + 1575 = 9175$  фунтовъ или около 91750 рублей кредит.

Срокъ исполненія заказа на заводѣ назначенъ былъ 39-ти недѣльный со дня полученія заводомъ перваго контрактнаго платежа (задатка), за исключеніемъ котла и аккумулятора, которые должны были быть готовы къ отправкѣ на мѣсто въ 9-ти недѣльный срокъ, дабы заблаговременно можно было приступить на мѣстѣ къ устройству фундаментовъ подъ машины. Всѣ механизмы и трубы, которыя впоследствии будутъ находиться подъ давленіемъ напорной воды, должны были быть испытаны на заводѣ на давленіе въ 2500 фунтовъ (167 атмосферъ) на квадрат. дюймъ; котель же испытывается на давленіе въ 180 фунтовъ на квадратный дюймъ (двойное противъ рабочаго давленія \*\*\*\*). Заводомъ точно также представляется надлежащее свидѣтельство объ испытаніи цѣпей.

\*) Гидрантами называются тѣ, расположенныя на известномъ разстояніи, развѣтвленія главной напорной (вдоль набережной) трубы, къ которымъ привинчиваются съемныя колѣнчатая трубы для соединенія напорной трубы съ передвижными гидравлическими кранами.

\*\*) Въ Англіи вода, отработанная въ гидравлическихъ механизмахъ, прямо выпускается изъ гидравлическихъ прессовъ внаружу, и потому трубъ для возвратной воды не имѣется. Въ Мариупольскомъ же портѣ въ видахъ возможности въ случаѣ надобности, при морозахъ, примѣшивать глицеринъ къ напорной водѣ, рѣшено было, для сбереженія такой воды, проложить трубы для возврата отработанной воды къ колодезю у машиннаго зданія, откуда вода эта вновь можетъ поступать въ нагнетательныя насосы.

\*\*\*) Объ общемъ планѣ укладки трубъ, клапановъ и пр. сообщено будетъ ниже.

\*\*\*\*) Испытанія котла, гидравлическихъ прессовъ для аккумулятора и углеподъемовъ и до 10% напорныхъ трубъ и другихъ частей производится въ присутствіи

Сборка заказа на мѣстѣ въ Маріуполѣ и укладка трубъ производится подъ завѣдываніемъ инженера, командированнаго заводомъ. Лицу этому Министерство уплачиваетъ обусловленное въ контрактѣ содержаніе (260 р. въ мѣсяць и на путевыя издержки по 200 руб. въ каждый конецъ). Министерство же на свой счетъ ставить потребную при сборкѣ рабочую силу, снасти и рабочій инструментъ. По окончаніи сборки углеподъемовъ, производится ихъ освидѣтельство правительственною комиссіею; освидѣтельство это должно удостовѣрить: а) что сборка произведена удовлетворительно и употребленные на постройку матеріалы суть надлежащаго качества; б) что углеподъемы сооружены устойчиво и прочно и согласно съ контрактными чертежами; в) что гидравлическіе аппараты, паровая машина, котель и аккумуляторъ дѣйствуютъ исправно и г) что *подъемъ, опрокидываніе и опусканіе круженаго вагона производится не болѣе, какъ въ двѣ минуты*. Если углеподъемы удовлетворяютъ этимъ требованіямъ и приняты будутъ казною, то на заводѣ Армстронга лежатъ еще *шестимѣсячная гарантія* со дня окончательной приѣмки углеподъемовъ въ Маріуполѣ. Всякую часть приспособленій, въ которой втеченіе этого срока окажутся недостатки вслѣдствіе неудовлетворительности проекта, матеріала или исполненія, заводъ обязанъ замѣнять безъ добавочной платы въ возможно короткій срокъ. До истеченія это гарантійнаго срока казною удерживается 5% съ контрактной стоимости заказа.

#### 4) Общій планъ предположеннаго оборудованія Маріупольскаго порта для отпуска каменнаго угля. Портовые рельсовые пути. Машинное зданіе. Водопроводная сѣть.

На черт. 60 лнст. 21 показано общее примѣрное распределеніе, по родамъ грузовъ, портовой территоріи Маріуполя. Для угля теперь отводится часть означенной территоріи, во всю ея ширину, начиная отъ корня западнаго мола на протяженіи 145 пог. саж. вдоль набережной.

---

лица, уполномоченнаго на то Министерствомъ путей сообщенія. По просьбѣ этого Министерства наблюденіе за исполненіемъ заказа и приѣмъ его на заводѣ приняло на себя наше военно-морское агентство въ Лондонѣ.

Углеподъемы предполагено размѣщать на набережной въ разстояніи 25 саж. (175 футъ) другъ отъ друга; что для судоходства Маріупольскаго порта вполне достаточно \*). Въ настоящее же время заказанные два углеподъема ставятся на двойномъ разстояніи между собою, на 50 саж., съ оставленіемъ между ними мѣста для третьяго углеподъема \*). Къ каждому изъ этихъ углеподъемовъ проложено будетъ, по кривой, два пути: для груженыхъ и для порожнихъ вагоновъ; пути эти сходятся передъ углеподъемомъ на общемъ поворотномъ кругѣ. Поворотные круги передъ углеподъемами соединены путемъ, проложеннымъ вдоль всей линіи набережныхъ: путь этотъ также, въ случаѣ надобности, можетъ служить для установки угольныхъ вагоновъ. Для установки еще нѣсколькихъ поѣздовъ изъ груженыхъ или порожнихъ вагоновъ служить небольшой паркъ путей. Пунктиромъ показано дальнѣйшее, въ случаѣ надобности, развитіе путей: пути къ третьему углеподъему и къ западному молу (въ случаѣ его устроенія и приспособленія для нагрузки судовъ) и расширеніе парка запасныхъ путей.

Независимо поменованныхъ путей, назначенныхъ для подачи вагоновъ къ углеподъемамъ и расположеннымъ примѣняясь къ расположенію путей въ англійскихъ портахъ, въ Маріуполь, какъ видно изъ плана, предполагается еще серія путей, параллельныхъ набережной и широко другъ отъ друга разставленныхъ (на разстояніи 13 и 20 саж. середина отъ середины). Пути эти, которыхъ не видно ни въ одномъ изъ англійскихъ портовъ, назначены для *выгрузки угля изъ вагоновъ на портовую территорию*, въ промежутки между путями, для временнаго его здѣсь храненія на складѣ. Эта серія путей пересѣкаетъ пути, идущіе къ углеподъемамъ, почти подъ прямымъ угломъ. При такомъ расположеніи путей, очевидно, движеніе можетъ быть производимо *одновременно* лишь на той или другой серіи путей, т. е. напр. во время движенія поѣзда, подаваемого на выгрузку въ складъ

\*) Согласно изложенному выше въ повѣвшихъ документахъ (Roathbasin въ Кардиффѣ, Пенартъ, Ньюпортъ), посѣщаемыхъ преимущественно судами дальняго плаванія, разстояніе между углеподъемами равно 200—210 футъ. Въ старомъ Западномъ докѣ Кардиффа, посѣщаемомъ теперь почти исключительно парусными судами, разстояніе это равно лишь 130—150 футъ.

\*\*) Существуетъ предположеніе этотъ третій углеподъемъ устроить передвижнымъ.

(по путямъ, параллельнымъ набережной) подача вагоновъ къ углеподъемамъ (по кривымъ путямъ) должна быть временно приостанавливаема \*).

Въ западномъ углу портовой территоріи ставятся каменное *машинное зданіе* черт. 58 лист. 20 съ каменнымъ жильнымъ домомъ для машиниста и кочегара. Устройство машиннаго зданія понятно изъ чертежей. Помѣщенія для котловъ и паровыхъ машинъ дѣлаются такихъ размѣровъ, что здѣсь, въ случаѣ надобности, можно будетъ поставить вторую паровую машину и второй паровой котель тѣхъ же размѣровъ, что теперь ставятся, и такимъ образомъ увеличить движущую силу въ 2 раза. Помѣщеніе для аккумулятора имѣетъ видъ башни квадратнаго сѣченія (1,93 саж. въ сторонѣ), высотой внутри въ 4,72 саж. Въ центрѣ помѣщенія поставленъ вертикально гидравлическій прессъ аккумулятора; при движеніи ныряла (съ подвѣшеннымъ къ нему цилиндрическимъ желѣзнымъ ядромъ съ балластомъ), укрѣпленные къ концу ныряла выступы скользятъ по желѣзнымъ направляющимъ, прикрѣпленнымъ къ вертикально установленнымъ, по стѣнамъ башни, деревяннымъ брускамъ. Основаніе подъ аккумуляторомъ и дымовую трубою свайное, съ бетоннымъ ростверкомъ \*\*).

Отъ машиннаго зданія главная напорная труба направляется перпендикулярно къ набережной и затѣмъ, повернувъ подъ прямымъ угломъ, проложена вдоль всей линіи набережной. Черт. 60, листъ 21. Отдѣльное развѣтвленіе трубы ведетъ къ кабестанамъ. Отъ главной напорной трубы отдѣляются короткія развѣтвленія къ углеподъемамъ. По всей длинѣ набережной, черезъ каждые 10 саж., на главной напорной трубѣ ставятся гидранты для передвижныхъ крановъ, которые, такимъ образомъ, въ случаѣ надобности, могутъ быть употребляемы не только для нагрузки и выгрузки разныхъ товаровъ, но могутъ быть устанавливаемы и *въ промежуткахъ между углеподъемами* для нагрузки угля (бадьями) изъ складовъ на суда \*\*\*).

\*) Описанное расположеніе путей не получило еще утвержденія и можетъ еще быть измѣнено; временно же укладка путей предоставлена соглашенію Управленія Донецкой желѣзной дороги съ Начальникомъ работъ Мариупольскаго порта.

\*\*) Чертежъ представленный здѣсь составленъ на заводѣ Армстронга, при исполненіи же сдѣланы нѣкоторыя измѣненія, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, къ которымъ относятся и свайное основаніе, не показанное на чертежѣ.

\*\*\*) Пока такихъ передвижныхъ крановъ заказываемо не было.

Трубы для возвратной (отработавшей) воды проложены рядомъ съ напорными. Трубы эти кончаются однако на границѣ участка набережной, назначеннаго для каменнаго угля; на дальѣйшемъ протяженіи набережныхъ возвратныхъ трубъ не укладывается. Это вызывается тѣмъ, что на этомъ послѣднемъ участкѣ предполагено устанавливать лишь одни передвижные краны, которые расходовать будутъ сравнительно мало напорной воды, которую потому проще будетъ прямо выпускать внаружу. Въ соответствіи съ этимъ, гидранты на первомъ участкѣ ставятся двойные, для напорной и возвратной воды; на второмъ участкѣ гидранты одиночные—для напорной только воды \*).

Диаметръ напорныхъ трубъ измѣняется отъ 2-хъ до 5-ти дюйм., возвратныхъ отъ 3-хъ до 6-ти дюймовъ.

Напорныя трубы въ стыкахъ соединяются между собою флянцами, свинченными болтами; между флянцами прокладываются гуттаперчевыя кольца. Трубы для возвратной воды соединяются въ стыкахъ раструбами, какъ обыкновенныя водопроводныя трубы.

Вдоль набережной трубы (напорная и возвратная) укладываются частью на заднемъ уступѣ стѣнки набережной, частью на пристроенныхъ къ стѣнкѣ столбахъ. На участкѣ между набережными и машиннымъ зданіемъ напорныя трубы укладываются на каменныхъ столбахъ, въ формѣ куба, по 0,25 саж. въ сторонѣ. Подъ каждое звѣно трубы (длин. 9 ф.) подводятся два такихъ столба, въ разстояніи  $4\frac{1}{2}$  ф. другъ отъ друга; стыки трубъ дѣлаются на вѣсу. Возвратныя же трубы, какъ имѣющія другой уклонъ и болѣе гибкія сопряженія, укладываются на этомъ протяженіи непосредственно на днѣ рва. Вдоль набережной глубина заложения трубъ равна 4,025 фут., у аккумулятора 3 фут., такъ что напорныя трубы, на протяженіи 61 саж. будутъ имѣть небольшой уклонъ къ гавани; возвратныхъ трубамъ приданъ будетъ обратный уклонъ къ колодцу возлѣ машиннаго зданія.

Основанія подъ самыми угленодтемами — свайныя; состоятъ онѣ изъ 5-ти саженныхъ 5 вершковыхъ свай, срубанныхъ на глубинѣ 0,50 саж. подъ ординаромъ; на верхушкѣ свай наливается слой бе-

\*) Всего, съ иѣкоторыми запасомъ, заказано теперь 11 двойныхъ и 26 одиночныхъ гидрантовъ.

тона толщиной 0,60 саж., на которомъ уже возводится каменная кладка до высоты 1,20 саж. надъ ординаромъ. Кладка изъ мѣстнаго известняка на цементномъ растворѣ 1:2½; всѣ части основанія, выступающія внаружу, облицовываются гранитомъ, кромѣ того укладываются особые гранитные камни подъ чугунные башмаки, подушки и подъ шайбы фундаментныхъ болтовъ. Основаніе окружено шпунтовымъ рядомъ изъ 3-хъ саженныхъ досокъ толщиной 3 дюйма.

### 5) Погрузная способность сооружений порта.

Согласно изложенному раньше, нормальная суточная погрузная способность одного постоянного углеподъема можетъ быть принята въ 1000 тоннъ. Считая 300 рабочихъ дней въ году и принимая, что вслѣдствіе неравномѣрной, въ теченіи года, работы порта, углеподъемъ погрузить лишь 50% того, на что онъ способенъ, оказывается, что однимъ углеподъемомъ въ годъ можно погрузить  $\frac{1000 \times 300}{2} = 150.000$  тоннъ, или, круглымъ числомъ, 9 милл.

пудовъ угля. При восьмимѣсячной въ Маріуполѣ навигаціи, количество это уменьшается до 6 милл. на каждый углеподъемъ, а двумя углеподъемами втеченіи навигаціи можно разсчитывать погрузить до 12 милл. пудовъ. Хотя это количество, въ случаѣ большой неравномѣрности, по мѣсяцамъ, отпуска угля, можетъ уменьшиться противъ разсчета, за то съ другой стороны съ набережной будетъ производиться еще нагрузка судовъ углемъ ручнымъ способомъ изъ портовыхъ складовъ. На отводимыхъ нынѣ подъ нагрузку угля 145 пог. саж. набережныхъ можно, кромѣ 2-хъ судовъ при углеподъемахъ, установить одновременно въ одинъ рядъ, бортомъ къ набережной, еще не менѣе 4-хъ судовъ \*), для нагрузки изъ складовъ. Ввиду этого, на означенныхъ 145 пог. саж. набережныхъ, при двухъ устраиваемыхъ нынѣ углеподъемахъ, можно смѣло разсчитывать погрузить въ одну навигацію, *не менѣе 12—15 миллионозъ пудовъ угля.*

Бывшій въ 1887 г. съѣздъ горнопромышленниковъ въ Харьковѣ полагалъ, что на первое время черезъ Маріупольскій портъ можетъ направиться до 12 милл. пудовъ угля; на первое время, такимъ

\*) Полагая длину судовъ для Маріуполя въ среднемъ не болѣе 25 саж.

образомъ, возможность отправки черезъ Мариуполь необходимаго количества угля обезпечена.

На случай же увеличенія количества отправляемаго угля, возможны затѣмъ слѣдующія мѣры:

1) Если разовьется преимущественно непосредственная нагрузка изъ вагоновъ изъ суда, то на отведенныхъ уже для угля 145 пог. саж. набережныхъ можно поставить еще 3 углеподъема (размѣстивъ на этомъ участкѣ набережной 5 углеподъемовъ на среднемъ разстояніи 25 саж. другъ отъ друга) тогда съ этой набережной возможно будетъ отправлять  $5 \times 6 = 30$  милліоновъ пудовъ угля въ годъ.

2) Если же потребуется одновременно расширить мѣста для угольных складовъ въ портѣ, то протяженіе набережныхъ для отпуски угля можно приэтомъ увеличить до 300 саж., перенеся срочное пароходство на восточный молъ \*); углеподъемы тогда можно разставить пошире, чтобы дать между путями мѣсто для угольных складовъ.

3) Для дальнѣйшаго затѣмъ увеличенія отправки угля, можно уширить западный молъ, во внутрь гавани, и на молѣ этомъ поставить (какъ на чертежѣ показано пунктиромъ) необходимое число углеподъемовъ. Дальнѣйшее затѣмъ развитіе дѣятельности порта потребуетъ уже устройство внутреннихъ, выступающихъ въ гавань, моловъ.

---

**Примѣчаніе.** Для Мариупольскихъ углеподъемовъ представлены заводомъ Армстронга чертежи лишь тѣхъ частей, которыя не составляютъ заводской тайны, почему нельзя было здѣсь приложить чертежи исполнительныхъ механизмовъ, аккумулятора машинъ, трубъ и гидрантовъ.

---

\*) Эта мѣра и имѣется въ виду на случай увеличенія отпуски угля.

# О Г Л А В Л Е Н І Е.

	Стр.
Предисловіе . . . . .	1
<b>I. Введеніе и общій обзоръ литературы . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>II. Вагоны для перевозки каменнаго угля . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>III. Описаніе новѣйшихъ угленодъемовъ въ различныхъ портахъ:</b>	
1. Лондонъ и Бристоль . . . . .	5
2. Кардиффъ . . . . .	7
3. Пенартъ . . . . .	31
4. Ньюпортъ . . . . .	34
5. Свапсв . . . . .	38
6. Лаверпуль . . . . .	40
7. Биркенхэдъ . . . . .	43
8. Гарстонъ . . . . .	46
9. Глазго . . . . .	46
10. Бюессъ . . . . .	49
11. Бернтэйландтъ . . . . .	53
12. Ньюкэстль, Соутъ-Шильдъ и Сундерландъ . . . . .	54
13. Миддельсборо . . . . .	57
14. Гуль . . . . .	59
15. Грэтъ Гримеби . . . . .	63
16. Бостонъ . . . . .	63
17. Роттердамъ . . . . .	66
<b>IV. Приспособленія для движенія вагоновъ и втягиванія судовъ . . . . .</b>	<b>70</b>

КУРСЪ  
ВНУТРЕННИХЪ ВОДЯНЫХЪ СООБЩЕНІЙ.

Л Е К Ц І И

ЧТАННЫЯ

**Е. Г. Зброжекoмъ,**

ИНЖЕНЕРОМЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ,

Преподавателемъ и Инспекторомъ Института инженеровъ путей сообщенія  
Императора Александра I.

**Выпускъ 1-й**

съ 15 таблицами чертежей.

---

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.

1890.

## ПРЕДИСЛОВІЕ.

---

Техническая практика въ области водяныхъ путей требуетъ для рѣшенія частныхъ задачъ и для своего развитія: во 1-хъ, опредѣленія и указанія тѣхъ *законовъ*, коимъ подчиняются въ ней *явленія естественныя*, т. е. создаваемая самою природою, и *явленія искусственныя*, т. е. воспроизводимыя искусствомъ инженера; во 2-хъ, точнаго указанія тѣхъ *пріемовъ*, которыми могутъ быть воспроизводимы желаемыя искусственныя явленія.

Эти общія требованія технической практики въ области водяныхъ путей, во всей ихъ широтѣ и полной мѣрѣ, при современномъ состояніи прикладныхъ наукъ, удовлетворить нельзя; поэтому, ставя себѣ задачей сообразовать изложеніе учебнаго курса *внутреннихъ водныхъ сообщеній* съ требованіями современной практики, я имѣю въ виду лишь такое удовлетвореніе сихъ требованій, которое возможно при существующемъ развитіи научныхъ теоретическихъ началъ этой практики и при тѣхъ техническихъ данныхъ и времени, которыми я располагаю.

Приступивъ къ чтенію курса съ Октября мѣсяца 1889 года, я полагалъ первоначально издать его въ

видѣ литографированныхъ записокъ, поручивъ изданіе слушателямъ моимъ студентамъ IV курса Института Б. Васенко и В. Кожевникову; но недостаточность времени, которое я могъ посвятить редакціонному труду, заставила меня ограничиться въ 1889—90 учебномъ году изданіемъ лишь *1-го Отдѣла* читаемаго мною курса, каковый съ помощью Гг. Васенко и В. Кожевникова мнѣ и удалось подготовить къ печати.

*В. Зброжекъ.*

---

## О Г Л А В Л Е Н І Е.

### *Введеніе.*

	Стр.
§ 1. Значеніе внутреннихъ водяныхъ сообщеній . . . . .	1
§ 2. Предметъ курса . . . . .	3

### О Т Д Ъ Л Ъ 1-ЫЙ.

#### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЯ СВѢДѢНІЯ.

#### Г Л А В А 1-Я.

##### **Рѣки въ естественномъ состояніи.**

§ 1. Происхожденіе и питаніе рѣкъ водою . . . . .	5
§ 2. Гидродинамическія элементы рѣчного потока . . . . .	10
§ 3. Общія свойства движенія рѣчного потока. . . . .	19
§ 4. Движеніе наносовъ . . . . .	21
§ 5. Образованіе русла рѣчныхъ потоковъ. . . . .	29
§ 6. Ледъ и его движенія . . . . .	35

#### Г Л А В А 2-Я.

##### **Способы передвиженія грузовъ по внутреннимъ водянымъ путямъ и условія путей, имъ соответствующія.**

§ 1. О способахъ передвиженія грузовъ водою вообще. . . . .	38
§ 2. Силавъ. . . . .	39
§ 3. Суда и условія ихъ движенія:	
Очертанія судна. . . . .	44

	Стр.
Подъемная сила судна . . . . .	46
Остойчивость . . . . .	49
Легкость судовъ на ходу . . . . .	62
Поворотливость судна на ходу . . . . .	71
Крѣпкость судна . . . . .	78
Формы, основныя пропорціи и размѣры судовъ внутреннихъ во- днанныхъ путей . . . . .	82
Конструкція судовъ . . . . .	94
§ 4. Тяга судовъ . . . . .	98

---

# ВВЕДЕНІЕ.

## § 1. Значеніе внутреннихъ водяныхъ сообщеній.

Водянымъ путямъ сообщеній вообще называются такіе водные потоки и скопленія, по коимъ возможно перемѣщеніе грузовъ.

Изъ нихъ моря и океаны, омывающіе *извѣстныя* границы странъ и континентовъ, отличаются какъ пути столь существеннымъ особенностямъ отъ озеръ, рѣкъ и каналовъ, расположенныхъ внутри странъ, что, соотвѣтственно сему различію, изученіе благоустройства водяныхъ путей распадается на 2 курса: *путей обширныхъ и путей внутреннихъ.*

Изъ числа внутреннихъ водяныхъ путей, составляющихъ предметъ нашихъ занятій, рѣки почти всюду имѣютъ наибольшее распространеніе и въ развитіи промышленности и цивилизаціи народовъ получили историческое значеніе ранѣе всякаго рода другихъ путей сообщенія. По теченію ихъ возникали поселенія, нарождались и развивались центры промышленности и торговли, совершались великія переселенія народовъ и, можно сказать, успѣхи промышленности и цивилизаціи странъ находились въ прямой зависимости отъ тѣхъ удобствъ, которыя представляли прорѣзывающія ихъ рѣки, какъ для сообщеній *внутреннихъ*, такъ и для выхода въ моря т. е. для сообщеній *внѣшнихъ.*

Съ развитіемъ улучшенныхъ сухопутныхъ сообщеній, значеніе рѣкъ, какъ путей, видоизмѣнилось, но сохранило значительную силу. Онѣ и въ настоящее время представляютъ собою жизненные артеріи странъ, въ удобномъ состояніи—дающія населенію массу даровыхъ благъ, а въ неудобномъ и забропедномъ—приносящія ему вредъ на-

дорогъ (Chemin de fer du Nord), сътъ котораго находится въ непосредственной конкуренціи съ каналами, въ настоящее время есть единственное общество во Франціи, не прибѣгшее къ Правительственной поддержкѣ для гарантіи дохода своимъ акціонерамъ. Наоборотъ, судоходство не было въ состояніи выдержать конкуренціи съ желѣзными дорогами въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ рѣки не были достаточно улучшены или же оставались въ первобытномъ состояніи; но такая мѣстная утрата для судоходства не увеличила процвѣтанія конкурирующихъ желѣзныхъ дорогъ“.

Въ Россіи, при ея громадномъ пространствѣ и слабой промышленной производительности, при преобладающемъ производствѣ грузовъ малоцѣнныхъ и громоздкихъ, при необходимости перемѣщенія ихъ на очень большія разстоянія для сбыта на Европейскіе рынки и при томъ неблагоприятномъ условіи, что внутренніе водяные пути ея, вслѣдствіе замерзанія, почти на  $\frac{1}{2}$  года дѣлаются недоступными для пользованія, вопросъ о благоустройствѣ внутреннѣхъ водяныхъ путей имѣетъ гораздо большее значеніе, чѣмъ въ какомъ либо другомъ европейскомъ государствѣ.

Въ западныхъ государствахъ Европы сътъ внутреннихъ водяныхъ путей уже доведена до извѣстной степени совершенства и соотвѣтствія съ сътъю желѣзныхъ дорогъ; въ ней насчитывается около 17000 верстѣ каналовъ и около 24000 верстѣ судоходныхъ рѣкъ, и всетаки дальнѣйшее улучшеніе и развитіе этой сѣти составляетъ предметъ постоянныхъ заботъ. Между тѣмъ, въ Европейской Россіи, своею площадью превосходящей во много разъ площадь всѣхъ западноевропейскихъ государствъ, взятыхъ вмѣстѣ, имѣется лишь около 700 верстѣ каналовъ и до 85000 верстѣ рѣкъ (въ томъ числѣ судоходныхъ только 28000 верстѣ), благоустройство коихъ находится лишь въ зачаткѣ. Поэтому предстоящія заботы государства по благоустройству внутреннихъ водяныхъ путей Россіи должны быть еще очень велики, и изученіе этого дѣла должно составлять одну изъ важнѣйшихъ задачъ русскихъ инженеровъ Путей Сообщенія.

## § 2. Предметъ курса.

Изъ числа внутреннихъ водяныхъ путей озера, въ зависимости отъ ихъ величины, но свойствамъ своимъ, какъ пути сообщенія,

приближаются или къ морямъ и требуютъ сооруженій, аналогичныхъ съ приморскими сооружениями, составляющими предметъ особаго курса, или къ рѣкамъ в каналахъ и требуютъ нѣкоторыхъ такихъ же работъ, какъ рѣки и каналы; поэтому предметомъ настоящаго курса будутъ собственно рѣки и каналы; объ озерахъ же мы будемъ говорить лишь въ подходящихъ случаяхъ. Рѣки, хотя и представляютъ собою вообще *естественные*, т. е. данные природою водные пути, тѣмъ не менѣе въ природѣ пѣтъ такихъ рѣкъ, которыя бы на всемъ протяженіи удовлетворяли всѣмъ требованіямъ удобнаго передвиженія по нимъ грузовъ. Вообще на всѣхъ рѣкахъ требуются особыя приспособленія для отпуски и приѣма грузовъ, для ихъ стоянокъ, для безопаснаго направленія въ пути и наконецъ для самого ихъ передвиженія. Кромѣ того, для удовлетворенія данныхъ потребностей передвиженія грузовъ въ рѣкѣ могутъ быть необходимы или такого рода работы по расчисткѣ и улучшенію русла ея, которыя не измѣняютъ существа ея, какъ свободнаго потока, т. е. не нарушаютъ, такъ сказать, ея естественнаго быта; или такія сооружения, съ помощью коихъ рѣка обращается въ рядъ искусственныхъ озеръ, сообщающихся между собою (для пропуска воды и грузовъ) особыми приспособленіями, т. е. терять свойства естественнаго потока.

За сямъ, такъ какъ для уясненія техническихъ мѣръ благоустройства и улучшенія рѣкъ въ судоходномъ отношеніи вообще необходимо знать общія свойства рѣкъ и тѣ требованія, удовлетвореніе коимъ необходимо для дешеваго, удобнаго и безопаснаго передвиженія по нимъ грузовъ, то изложеніе по предмету нашего курса распадается на слѣдующіе отдѣлы:

1) Предварительныя общія свѣдѣнія: а) о происхожденіи, питаніи водою и свойствахъ рѣчныхъ потоковъ и б) о способахъ передвиженія грузовъ и соответствующихъ имъ условіяхъ водныхъ путей.

2) Технические мѣры благоустройства и улучшенія естественнаго судоходнаго состоянія рѣкъ.

3) Приведеніе рѣкъ въ искусственно судоходное состояніе.

и 4) Устройство искусственныхъ водныхъ путей, т. е. каналовъ.

## ОТДѢЛЪ I.

### Предварительныя свѣдѣнія.

## ГЛАВА I.

### *Рѣки въ естественномъ состояніи.*

#### § 1. Происхожденіе и питаніе рѣкъ водою.

Поверхность земной суши, какъ извѣстно, понижается террасами или постепенными скатами къ океанамъ, морямъ и большимъ озерамъ, образуя иногда системы долинъ (талъвеговъ), послѣдовательно сливающихся въ одну долину (главный талъвегъ), впадающую въ океанъ, море или озеро. Каждая система такихъ долинъ отдѣляется отъ сосѣднихъ съ нею системъ линіями возвышеній (водораздѣлами) и называется бассейномъ; причемъ каждый такой главный бассейнъ заключаетъ въ себѣ систему малыхъ водораздѣловъ, дѣлящихъ его по порядку входящихъ въ систему долинъ на бассейны 2-го, 3-го и т. д. порядковъ.

Вода атмосферныхъ осадковъ, выпадающихъ на площадь какого либо бассейна, какъ извѣстно, частью испаряется, частью просачивается въ землю и частью стекаетъ по скатамъ въ долины, къ талъвегамъ. Просачивающаяся въ землю вода заполняетъ постепенно промежутки между частицами рыхлыхъ напластованій, а также трещины и расщѣпы горныхъ породъ и подъ вліяніемъ силы тяжести выбивается внаружу въ пониженныхъ точкахъ земной поверхности въ видѣ источниковъ, называемыхъ *ключами*.

*Ключи* бываютъ тѣмъ обильнѣе водою, т. е. тѣмъ большее количество ея даютъ въ единицу времени, чѣмъ *водопроницаемость* напластованій, дающихъ имъ воду, больше, и чѣмъ больше тотъ напоръ, подъ которымъ происходитъ истеченіе воды. Они бываютъ *постоянными* (непсыкающими) въ томъ случаѣ, если питающій ихъ запасъ воды въ нѣдрахъ земли настолько великъ, что не можетъ израсходоваться во время самыхъ большихъ промежутковъ между пополненіями его изъ атмосферныхъ осадковъ, и *временными* или *перемежающимися* въ томъ случаѣ, если питающій ихъ запасъ

воды расходуется весь въ промежутки между послѣдовательными пополненіями его изъ атмосферныхъ осадковъ.

Воды *постоянныхъ* и *перемежающихся* ключей, направляясь къ ближайшимъ тальвегамъ, образуютъ въ нихъ ручьи; отъ сліянія ручьевъ образуются второстепенныя рѣчки, впадающія въ главный тальвегъ, и въ немъ образуется главная рѣка.

Кромѣ сего, верховья рѣкъ и ручьевъ иногда получаютъ питаніе отъ талія горныхъ ледниковъ и снѣговъ.

Если рельефъ земной поверхности не даетъ естественныхъ долинъ, въ направленіи конхъ свободно могутъ образоваться постоянныя ручьи и рѣчки, то скопившіяся воды ключей и горныхъ источниковъ вымываютъ себѣ въ направленіи уклоновъ мѣстности нути, называемыя *вымывными долинами*. Въ верховьяхъ такихъ вымывныхъ долинъ скопленія воды нерѣдко представляютъ собою болота и озера болѣе или менѣе значительныхъ размѣровъ.

Постоянные потоки ручьевъ и рѣкъ получаютъ еще дополнительное питаніе отъ встрѣчающихся по нути ихъ ключей и по временамъ отъ непосредственнаго притока наземныхъ атмосферныхъ водъ, г. е. отъ той части водъ атмосферныхъ осадковъ, которая стекаетъ непосредственно со скатовъ бассейна въ тальвеги. Количество наземныхъ водъ можетъ быть весьма разнообразно и очень велико; оно зависитъ отъ интенсивности выпаденія или вообще прибыли атмосферной воды, отъ площади бассейна, отъ крутизны его скатовъ, отъ большей или меньшей водонепроницаемости ихъ напластованій, отъ состоянія поверхности скатовъ, т. е. будетъ ли она ровная или иѣтъ, покрытая или непокрытая растительностью и т. п. и наконецъ отъ разныхъ случайныхъ сочетаній. Такъ напр. прибыль наземныхъ водъ въ рѣкахъ можетъ значительно увеличиться въ томъ случаѣ, если сильный дождь выпадетъ на поверхность скатовъ, замерзшую или насыщенную отъ прежде бывшихъ дождей, или же если во время весенняго таянія снѣговъ выпадетъ теплый дождь.

Между количествомъ воды, протекающимъ черезъ опредѣленное сѣченіе рѣчки и поступающимъ въ рѣку изъ разныхъ источниковъ выше этого сѣченія, всегда существуетъ иѣкоторая опредѣленная зависимость; тѣмъ не менѣе количества эти никогда не бываютъ равны, ибо часть воды, поступающей въ рѣку, теряется испареніемъ и фильтраціей въ русло рѣчки. Потеря воды изъ рѣчки испареніемъ

пропорціональна площади водної поверхності р'чки и высотъ испаряющагося слоя, которая въ свою очередь зависить отъ условій климатическихъ и метеорологическихъ. Потеря эта невелика и достигаетъ чувствительныхъ размѣровъ лишь въ концѣ значительныхъ протяженій р'чки. Потеря воды изъ р'чки черезъ фильтрацію зависитъ отъ глубины р'чки, площади и *водопроницаемости* русла и въ зависимости отъ этой послѣдней можетъ достигнуть весьма значительныхъ размѣровъ на небольшомъ протяженіи.

Итакъ мы видимъ:

1) что *питаніе р'чныхъ потоковъ водою* вообще происходитъ изъ слѣдующихъ источниковъ:

а) изъ горныхъ источниковъ (отъ таянія горныхъ ледниковъ и снѣговъ),

б) изъ ключей постоянныхъ и перемежающихся, расположенныхъ какъ въ верховьяхъ, такъ и по теченію потока,

в) непосредственно изъ атмосферныхъ осадковъ, т. е. отъ той части ихъ, которая непосредственно стекаетъ со скатовъ бассейна,

и г) изъ притоковъ, т. е. впадающихъ второстепенныхъ р'чныхъ потоковъ и ручьевъ,

и 2) что *количество воды*, протекающей въ р'чкѣ въ единицу времени, представляетъ собою величину, переменную во времени и пространствѣ, т. е. что *расходъ воды* въ р'чкѣ бываетъ различенъ въ разныхъ мѣстахъ р'чки въ одно и то же время, и въ томъ же мѣстѣ въ разное время.

Въ каждомъ данномъ сѣченіи р'чки между расходами воды и соответствующими имъ глубинами, т. е. возвышеніямъ горизонта воды надъ двомъ р'чки существуетъ всегда нѣкоторая зависимость. Зависимость эту мы постараемся точнѣе выяснить впоследствии; здѣсь же замѣтимъ, что горизонтъ воды въ р'чкѣ возвышается съ увеличеніемъ расхода воды и понижается съ уменьшеніемъ его; поэтому въ отношеніи питанія водою, въ каждой р'чкѣ различаются:

1) *Меженное состояніе*, въ коемъ р'чка получаетъ воду главнымъ образомъ \*) изъ постоянныхъ источниковъ и ключей. Расходъ

\*) Теоретически вѣрнѣе было бы назвать *меженнымъ* такое состояніе р'чки, при коемъ она получаетъ исключительно лишь воду постоянныхъ источниковъ и ключей, и когда въ бассейнѣ ея дожди не выпадаютъ и нѣтъ таянія снѣговъ; въ

воды въ этомъ состояніи рѣки не сохраняетъ постоянной величины, а въ нѣкоторыхъ предѣлахъ увеличивается и уменьшается въ зависимости отъ измѣненій въ количествахъ воды, даваемыхъ источниками и ключами, и отъ случайныхъ мѣстныхъ небольшихъ прибылей атмосферной воды. Вслѣдствіе сего въ меженнемъ состояніи рѣки въ свою очередь различаются слѣдующіе *горизонты воды*:

а) *Нормальный меженный горизонтъ*, т. е. горизонтъ бывающій въ меженнемъ состояніи ежегодно и соответствующій среднему возвышенію воды надъ дномъ рѣки, выведенному изъ наблюдений большаго числа лѣтъ.

б) *Низкій меженный горизонтъ*, т. е. обыкновенно бывающій самый низкій горизонтъ въ межень, соответствующій среднему изъ наблюденныхъ въ теченіи многихъ лѣтъ самыхъ малыхъ возвышеній воды надъ дномъ рѣки.

и в) *Самый низкій меженный горизонтъ*, т. е. такой, ниже котораго, по наблюденіямъ многихъ лѣтъ, вода никогда не опускалась.

2) *Состояніе паводковъ*, въ которомъ рѣка, кромѣ воды постоянныхъ источниковъ и ключей, получаетъ еще болѣе или менѣе значительныя количества наземныхъ водъ изъ атмосферныхъ осадковъ. Въ этомъ состояніи имѣютъ значеніе наблюденныя за много лѣтъ наивысшіе горизонты обыкновенныхъ паводковъ въ разное время года.

и 3) *Состояніе половодья*, въ которомъ рѣка, кромѣ воды источниковъ и ключей, ее питающихъ, получаетъ наибольшее въ году количество наземныхъ атмосферныхъ водъ; въ этомъ состояніи рѣка переполняетъ свое русло, болшею частью выходитъ изъ береговъ и затопляетъ долину, причемъ различаются:

а) *горизонтъ обыкновенныхъ высокихъ водъ*, или нормальный горизонтъ высокихъ водъ, соответствующій среднему изъ наибольшихъ возвышеній воды надъ дномъ рѣки, наблюденныхъ неоднократно въ теченіи многихъ лѣтъ,

и б) *наивысшій горизонтъ высокихъ водъ*, т. е. горизонтъ, до

дѣйствительности такое состояніе рѣкъ болшею частью бываетъ весьма кратковременно, а потому меженимъ считаютъ и такое состояніе рѣкъ, при коемъ къ водѣ постоянныхъ источниковъ и ключей прибавляются *небольшія* количества атмосферныхъ водъ.

коего высокія воды доходили, но выше коего, по наблюденіямъ многихъ лѣтъ, не подымался.

Расходы воды въ рѣкахъ при разныхъ горизонтахъ бываютъ вообще весьма различны, но величина каждаго рѣчнаго потока характеризуется собственно полнымъ расходомъ воды въ устьѣ его при *нормальномъ* меженнемъ горизонтѣ. Рѣки, въ конхъ расходъ сей не превышаетъ 1 кв. саж. въ 1", можно считать малыми рѣками, рѣки съ расходомъ отъ 1 до 10 кв. саж.—средними и съ расходомъ свыше 10 кв. с.—большими рѣками.

Если путемъ послѣдовательныхъ измѣреній и вычисленій опредѣлить все то количество воды, которое протекаетъ черезъ *данное поперечное сѣченіе* рѣки въ теченіи нѣсколькихъ лѣтъ (10—15), и изъ этого количества вывести средній расходъ въ 1", то расходъ этотъ называется *модулемъ* рѣки въ данномъ ея сѣченіи. Величина *модуля* зависитъ отъ площади бассейна, питающей разными путями данное сѣченіе рѣки, отъ той доли выпадающаго средняго годоваго слоя атмосферныхъ осадковъ, которая вводится подземными и наземными путями бассейна къ рѣкѣ, и отъ водопродныхъ способностей русла рѣки выше даннаго ея сѣченія. Если всѣ эти условія остаются неизмѣнными, то *модуль* представляетъ собою *постоянную* величину, что и имѣетъ мѣсто до известной степени, въ большинствѣ случаевъ.

Расходы воды при разныхъ горизонтахъ ея въ данномъ сѣченіи рѣки могутъ быть выражены умноженіемъ модуля на нѣкоторые коэффициенты. Для нормальныхъ расходовъ меженныхъ и высокихъ водъ, коэффициенты эти, очевидно, должны были бы представлять собою нѣкоторые постоянныя величины; но въ дѣйствительности оказывается, что они лишь временно постоянны и почти во всѣхъ рѣкахъ, съ теченіемъ времени, измѣняются такъ, что коэффициенты меженныхъ расходовъ уменьшаются, а коэффициенты расходовъ высокихъ водъ увеличиваются. Явленіе это, указывающее на то, что почти во всѣхъ рѣкахъ, со временемъ, притокъ подземныхъ водъ уменьшается, а притокъ наземныхъ атмосферныхъ водъ увеличивается, происходитъ главнымъ образомъ, какъ показали изслѣдованія, отъ вырубки лѣсовъ и вообще отъ уничтоженія растительности *въ мѣстностяхъ питающихъ ключи*, и отъ поверхностныхъ землеосушитель-

ныхъ работъ, производимыхъ съ земледѣльческими, санитарными и строительными цѣлями.

Въ зависимости отъ площадей и разныхъ условій бассейновъ, соотношенія между расходами *нормальныхъ высокихъ* и *меженныхъ* водъ въ рѣкахъ бываютъ весьма разнообразны и вообще выражаются довольно крупными цифрами; во многихъ рѣкахъ расходы высокихъ водъ превосходятъ въ 100 и болѣе разъ расходы меженныхъ водъ.

По наблюденіямъ съ 1876 по 1881 годъ годовыя амплитуды колебаній горизонтовъ воды, т. е. возвышенія среднихъ высокихъ горизонтовъ воды надъ средними низкими на некоторыхъ русскихъ рѣкахъ достигали слѣдующихъ размѣровъ:

	Въ устьѣ.	На остальн. протяж.
На р. Волгѣ . . . .	1,66 с.	отъ 3,5 до 5,7 саж.
„ „ Ока . . . .	— „	„ 3,56 „ 6,56 „
„ „ Днѣпръ . . . .	0,99 „	„ 1,5 „ 4,36 „
„ „ Дону . . . .	1,97 „	„ 3,22 „ 3,29 „
„ „ Зап. Двиѣ . . . .	1,26 „	„ 3,39 „ 3,91 „

## § 2. Гидродинамическіе элементы рѣчного потока.

Движеніе водяного потока вообще опредѣляется совокупнымъ соотношеніемъ некоторыхъ элементовъ, которые можно назвать гидродинамическими. Такъ, мы знаемъ, что расходъ воды въ какомъ-либо поперечномъ сѣченіи русла потока зависитъ отъ двухъ элементовъ: отъ площади *живаго сѣченія*, т. е. той площади поперечнаго сѣченія русла, которая занята водою, отъ *средней* скорости струй въ этомъ сѣченіи и выражается такъ:

$$Q = \Omega \cdot v \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ  $Q$  расходъ  
 $\Omega$  площадь  
 $v$  — скорость.

За симъ мы знаемъ, что *средняя скорость*  $v$  въ свою очередь зависитъ:

а) Отъ величины *подводнаго* радіуса или *гидравлической* глубины, т. е. отъ отношенія площади живаго сѣченія къ подводному периметру его  $R = \frac{\Omega}{p}$ .

- б) Отъ продольнаго уклона поверхности воды и, наконецъ,  
 в) Отъ тѣхъ сопротивленій движенію, которыя встрѣчаетъ вода

по подводному периметру русла. Соотношеніе этихъ элементовъ выражается слѣдующимъ дифференціальнымъ уравненіемъ съ коэффициентами Дарси-Базена:

$$dy = K \cdot \frac{v \cdot dv}{g} + A \cdot \frac{v^2}{R} ds \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

гдѣ  $v$  средняя скорость

$g$  ускореніе силы тяжести

$dy$ —*надежн*е поверхности воды на элементъ длины потока

$ds$  элементъ длины потока

$R$ —подводный радиусъ

$A$ —коэффициентъ сопротивленія, при всѣхъ измѣреніяхъ въ футахъ, для земляныхъ руслъ, имѣющій значеніе:

$$A = 0,000853 + \frac{0,00035}{R}$$

$K$ —коэффициентъ поправки, при всѣхъ измѣреніяхъ въ футахъ, имѣющій значеніе  $K = 1 + 640 A$ .

Гидродинамическіе элементы рѣчныхъ потоковъ отличаются нѣкоторыми слѣдующими особенностями, имѣющими весьма большое значеніе.

*Поперечныя сѣченія русла* рѣчныхъ потоковъ всегда имѣютъ болѣе или менѣе неправильныя криволинейныя очертанія дна и откосовъ, зависящія какъ отъ случайностей естественнаго поперечнаго рельефа долины, такъ и отъ неравномѣрнаго размывающаго дѣйствія воды и всегда значительно *болше развиты въ ширину, чѣмъ въ глубину*. Вслѣдствіе сего въ рѣчныхъ потокахъ, во 1-хъ, проявляется разнообразная и довольно сложная зависимость между расходами воды и глубинами живыхъ сѣченій, во 2-хъ, живыя сѣченія имѣютъ глубины всегда незначительныя сравнительно съ ихъ ширинами по урѣзу воды; а именно: въ большинствѣ случаевъ глубины имѣютъ величину меньшую  $\frac{1}{40}$  доли ширины живыхъ сѣченій по урѣзу воды.

При опредѣленіи соотношенія расходовъ воды и глубинъ живыхъ сѣченій или высотъ воды, принимаются глубины или возвышенія воды надъ *среднимъ дномъ* русла. Эти возвышенія воды опредѣляются слѣдующимъ образомъ. Въ изслѣдуемомъ мѣстѣ рѣчки измѣряется площадь живаго сѣченія потока при наимнѣйшемъ меженнемъ горизонтѣ и раздѣленіемъ этой площади на ширину живаго сѣченія по

урѣзу воды опредѣляется *средняя глубина* его. Прибавленіемъ къ найденной *средней глубины* наименьшаго живаго сѣченія наблюдаемыхъ возвышеній воды надъ *наимизшимъ меженимъ* горизонтомъ получаютъ искомыя возвышенія надъ *среднимъ дномъ*.

По изслѣдованіямъ Ломбардини (произведеннымъ въ Италіи въ первой половинѣ настоящаго столѣтія) зависимость расходовъ и высотъ воды надъ среднимъ дномъ выражается:

Для рѣки Адда у озера Комо:

$$Q = 100 h^{3/2} (1 - 0,032 h),$$

гдѣ  $Q$ —расходъ въ куб. метрахъ.

$h$ —высота воды надъ среднимъ дномъ въ метрахъ.

Для рѣки По между Понте Лагоскюро и Фосса д'Альберто, при тѣхъ же обозначеніяхъ, поверхностномъ уклонѣ  $i$  и ширинѣ живаго сѣченія  $l$  въ метрахъ:

$$Q = m l h^{3/2} \sqrt{i},$$

гдѣ

$$i = 0,115 - 0,00069 h^2, \text{ и } m = 767;$$

а слѣд.

$$Q = 767 l h^{3/2} \sqrt{0,115 - 0,00069 h^2}.$$

Пользуясь этими формулами и 10-лѣтними наблюденіями горизонтовъ воды, Ломбардини, между прочимъ, вычислилъ модуль рѣкъ Адда и По у названныхъ мѣстъ.

Вслѣдъ за Ломбардини французскій инженеръ Баумгартенъ искалъ выраженія зависимости расходовъ отъ высотъ воды въ р. Гароннѣ у Тоннена по формулѣ

$$Q = m \cdot h^{3/2} \cdot \sqrt{i}$$

и для измѣреній въ метрахъ нашелъ, что:

$$m = 125 \text{ и } i = -0,094 + 0,201h - 0,044h^2 + 0,003h^3.$$

За сямъ французскій инженеръ Фаргъ въ своихъ изслѣдованіяхъ р. Гаронны, опубликованныхъ въ 1868 г., полагалъ, что зависимость расходовъ и высотъ воды можетъ быть выражена уравненіемъ:

$$Q = \alpha + \beta h + \gamma h^2,$$

т. е. уравненіемъ параболы, ось коей параллельна оси абсциссъ или

величинъ  $Q$  п, на основаніи произведенныхъ измѣреній на р. Гарониѣ у Лангона, по способу наименьшихъ квадратовъ, для измѣреній въ метрахъ, вычисливъ коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , причѣмъ получилъ выраженіе:

$$Q = 86,518 + 120,184h + 41,698h^2.$$

Формула эта, по заявленію Фарга, давала результаты, вполнѣ совпадающіе съ измѣреніями въ тѣхъ предѣлахъ горизонтовъ воды, въ конхъ были произведены измѣренія, послужившія оспованіемъ для вычисленія ея коэффициентовъ; но примѣненіе ея къ болѣе высокимъ горизонтамъ давало поводъ думать, что соотношеніе расходовъ и высотъ воды можно было бы лучше выразить формулой вида

$$Q = M. h^{3/2}.$$

Нѣкоторыя изслѣдованія, произведенныя въ Германіи въ ближайшее къ намъ время, приводятъ къ заключенію, что искомое соотношеніе расходовъ и высотъ воды иногда можетъ быть приблизительно выражаемо уравненіемъ параболы 2-го порядка, вида

$$Q = M. h^2.$$

Формула вида, предложеннаго Ломбардини для р. По, заслуживаетъ наибольшаго вниманія, потому что она выводится изъ уравненія движенія воды \*). Для приближительнаго изслѣдованія, полагая  $i$  постояннымъ, можно пользоваться сокращеннымъ видомъ этой формулы

$$Q = M. h^{3/2}.$$

*Продолжный уклонъ* поверхности рѣчнаго потока представляетъ собою нѣкоторую ломаную кривую, общее наклоненіе коей къ горизонту обыкновенно уменьшается отъ верховьевъ къ устью рѣки и отдѣльные элементы коей имѣютъ разныя наклоненія къ горизонту въ сторону устья.

---

\*) Если мы представимъ себѣ небольшой участокъ рѣки съ однообразными и мало разнящимся живыми сѣченіями, то въ уравненіи движенія воды можемъ принять  $dv=0$  и будемъ имѣть  $dy = \frac{Av^2}{R}. ds$  или  $Ri = Av^2$ , такъ какъ  $\frac{dy}{ds} = i$ ; затѣмъ для даннаго сѣченія можетъ быть принято  $R = \xi h$ , а слѣд.  $v^2 = \frac{R. i}{A} = \frac{\xi. h. i}{A} = n h i$ , откуда  $v = \sqrt{n. h. i}$  и  $Q = v \Omega = n_1 l h \sqrt{n h i} = m l h^{3/2} \sqrt{i}$ .

Если рѣка беретъ начало въ горныхъ скалахъ и опускается постепенными склонами къ своему устью, встрѣчая по пути болѣе или менѣе одинаково размыаемыя породы, то общій уклонъ поверхности ея потока уменьшается къ устью съ небольшими изломами постепенно, и въ немъ различаются три области: область горная или весьма быстрого теченія и водопадовъ, область средняя—быстрого теченія и область низменная—тихого спокойнаго теченія.

По мѣрѣ размыва русла границы этихъ областей подвигаются къ верховью, такъ что область *низменная*, спокойнаго теченія, постепенно развивается на счетъ области быстрого, а область быстрого—на счетъ области горной, и въ результатѣ получается нѣкоторое постепенное уменьшеніе уклоновъ въ низменной области и пѣкоторое увеличеніе ихъ въ горной.

Рѣки, берущія начало на плоскихъ возвышенностяхъ и въ котловинахъ, не имѣютъ горныхъ областей; нѣкоторыя же рѣки второстепенныя (впадающія въ другія рѣки), иногда не имѣютъ низменныхъ областей. Наконецъ рѣки, встрѣчающія на пути своего русла террасы или твердыя неразмыаемыя породы (пороги), имѣютъ крутые поверхностные уклоны, быстротоки и водопады на границахъ среднихъ и низменныхъ областей своихъ, а иногда и въ нѣкоторыхъ мѣстахъ этихъ областей.

Изломы кривой поверхностнаго уклона рѣчнаго потока во всѣхъ областяхъ его происходятъ еще отъ того, что потокъ на пути своемъ встрѣчаетъ послѣдовательныя неравномѣрныя ушпренія и суженія долины, а также различныя сопротивленія грунтовъ размыву и вырабатываетъ въ нихъ себѣ русло, неодинаково развитое въ разныхъ мѣстахъ въ ширину и глубину. Измѣненія въ продольномъ поверхностномъ уклонѣ потока въ зависимости отъ измѣненій ширины и глубины его русла весьма наглядно показываются нижеслѣдующими опытами, произведенными въ Роаниѣ въ 1847 году французскимъ инженеромъ Вотье надъ искусственными руслами.

Въ искусственное прямоугольное русло съ боковыми ушпреніями (черт. 1), закрываемымъ щитами, была пущена вода при закрытыхъ щитахъ—потокъ получилъ прямолинейный поверхностный уклонъ, параллельный уклону дна русла, показанный на черт. 2 пунктирную линію; щиты, закрывающіе ушпренія, были осторожно выну-

ты, дѣйствіе общаго уширенія русла проявилось, и потокъ получилъ поверхностный уклонъ, показанный на черт. 2 кривою сплошною.

Въ мѣстѣ самаго большаго уширенія того же русла на дно его была поставлена осторожно небольшая перемычка, и поверхностный уклонъ потока принялъ видъ, показанный на черт. 3 кривою.

Въ руслѣ съ уширеніемъ (черт. 4) поставлена была продольная перегородка  $fk$ , дѣлящая его на два равныхъ по ширинѣ рукава, причемъ съ помощью подвижной части, перегородка эта могла быть сопряжена съ правымъ берегомъ. Когда перегородка была сопряжена съ правымъ берегомъ (подвижная часть ея находилась въ положеніи  $fg$ ), поверхностный уклонъ потока въ лѣвомъ рукавѣ имѣлъ видъ, показанный пунктирной прямою (черт. 5), съ небольшимъ лишь перепадомъ у низоваго конца перегородки, а въ правомъ рукавѣ вода стояла на горизонтальномъ уровнѣ, соотвѣтствующемъ концу лѣваго рукава; когда же перегородка была выпрямлена (подвижная часть ея была поставлена въ положеніи  $fg'$ ) въ обѣихъ рукавахъ поверхностный уклонъ потока принялъ видъ, показанный на черт. 5 сплошной кривою линіей.

Такія же измѣненія поверхностныхъ уклоновъ имѣютъ мѣсто и въ естественныхъ рѣчныхъ потокахъ, но нужно сказать, что въ натурѣ они вообще проявляются въ менѣе рѣзкомъ масштабѣ, причемъ подъемы уклоновъ въ сторону, обратную теченію, встрѣчаются довольно рѣдко, на самыхъ малыхъ протяженіяхъ и носятъ преимущественно характеръ временный.

Поверхностные уклоны рѣчныхъ потоковъ вообще достигаютъ слѣдующихъ величинъ:

въ горныхъ	областяхъ	отъ	$\frac{7}{10000}$	до	$\frac{6}{100}$
въ порогахъ		»	$\frac{1}{1000}$	до	$\frac{5}{1000}$
въ среднихъ	областяхъ	»	$\frac{1}{100000}$	до	$\frac{7}{10000}$
и въ низменныхъ	»	»	$\frac{1}{100000}$	и менѣе до	$\frac{1}{1000000}$

Зависимость высотъ воды отъ расходовъ и одновременныя измѣненія самихъ расходовъ въ послѣдовательныхъ (болѣе или менѣе удаленныхъ другъ отъ друга) сѣченіяхъ рѣчнаго потока, не бываютъ

однаковы; поэтому одновременные подъемы горизонтовъ воды въ послѣдовательныхъ живыхъ сѣченіяхъ рѣки вообще бываютъ не равны между собою, и вслѣдствіе сего уклоны поверхности потока въ одномъ и томъ же участкѣ рѣки, при измѣненіяхъ расходовъ и горизонтовъ воды, измѣняются и притомъ весьма разнообразно: съ подъемомъ горизонта воды, уклоны иногда увеличиваются, иногда же, наоборотъ, уменьшаются.

*Средняя скорость* струйъ воды въ какомъ либо живомъ сѣченіи рѣчного потока можетъ быть разсматриваема или какъ функція дѣйствительныхъ скоростей отдѣльныхъ струй и площади живого сѣченія, или какъ функція той живой силы, съ которою масса воды подходитъ къ живому сѣченію.

Въ первомъ случаѣ средняя скорость вообще выражается уравненіемъ:

$$v = \frac{\Sigma u \cdot w}{Q}, \text{ гдѣ}$$

$u$ —скорости отдѣльныхъ струй,

$w$ —части площади живаго сѣченія, имъ соответствующія,

$Q$ —общая площадь живаго сѣченія.

Во второмъ случаѣ, по принципамъ гидродинамики и соображаясь съ изслѣдованіями Ломбардини, средняя скорость вообще выражается уравненіемъ  $v = \varphi \sqrt{hi}$  \*),

\*) По Гангилле и Кутгеру  $v = C\sqrt{Ri}$  и при измѣреніяхъ въ метрахъ:

$$C = \frac{63 + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i} \frac{0,025}{\sqrt{R}}\right)},$$

а при измѣреніяхъ въ футахъ:

$$C = \frac{63 + \frac{0,00155}{i}}{0,55 + \left(23 + \frac{0,00155}{i} \frac{0,025}{\sqrt{R}}\right)}.$$

По Базену:

$$C = \frac{1}{\sqrt{0,0000853 + \frac{0,00035}{R}}}$$

при измѣреніяхъ въ футахъ.

гдѣ  $\varphi$  — нѣкоторый коэффициентъ, соответствующій данному участку и данному сѣченію потока,

$h$  — высота воды надъ среднимъ дномъ даннаго живаго сѣченія,

$i$  — продольный уклонъ поверхности подходящей къ данному сѣченію воды, соответствующій высотѣ воды  $h$ .

Изъ этого уравненія видно, что средняя скорость живаго сѣченія рѣчнаго потока возрастаетъ при увеличеніи высотъ воды и соответствующемъ увеличеніи уклоновъ, убываетъ при уменьшеніи высотъ и уклоновъ и можетъ возрастать или убывать при увеличеніи высотъ и связанномъ съ нимъ уменьшеніи уклоновъ, смотря потому, въ какой степени уменьшаются уклоны въ связи съ увеличеніемъ высотъ.

Частицы воды, какъ извѣстно, проявляютъ между собою и въ нрнкосновеніи съ твердыми тѣлами нѣкоторую силу прилипанія (сѣпленія), и, вслѣдствіе существованія этой силы, всякій водный потокъ встрѣчаетъ въ своемъ руслѣ сопротивленіе движенію. Сопротивленіе проявляется на поверхности соприкасанія потока съ русломъ (по подводному периметру) и передается внутрь его массы отдѣльнымъ струямъ, постепенно уменьшаясь по нѣкоторому закону; вслѣдствіе этого скорости отдѣльныхъ струй потока не равны между собою, а по нѣкоторому закону растутъ отъ подводнаго периметра русла внутрь массы потока до нѣкоторой его оси, которую можно назвать *динамическою* осью потока, и въ этой оси имѣютъ наибольшую величину.

Пропзведенными изслѣдованіями доказано, что въ каждомъ живомъ сѣченіи рѣчнаго потока скорости измѣняются въ вертикальномъ и горизонтальномъ направленіяхъ по нѣкоторымъ кривымъ, которыя можно принимать за параболы 2-го норядка; причемъ вертикальная парабола *наибольшихъ скоростей* находится въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ *динамическую ось* потока и пересѣкающей подводный периметръ русла (въ большинствѣ случаевъ, если въ очертаніи его нѣтъ никакихъ особыхъ неправильностей) въ самой пониженной точкѣ, т. е. въ точкѣ наибольшей глубины живаго сѣченія; ось сей параболы совпадаетъ съ динамическою осью потока, которая всегда помѣщается въ предѣлахъ верхней трети глубины живаго сѣченія и тѣмъ ближе къ поверхности воды, чѣмъ меньше глубина; такъ что въ потокахъ глубокихъ она находится на  $\frac{1}{3}$  глубины ниже

поверхности воды, въ потокахъ же мелкихъ почти у самой поверхности воды (черт. 6 и 7).

Отъ вертикальной *плоскости наибольшихъ скоростей* скорости убываютъ въ горизонтальныхъ направленихъ въ обѣ стороны къ берегамъ по параболамъ, оси коихъ находятся въ *плоскости наибольшихъ скоростей*, и вершины коихъ находятся въ точкахъ *параболы наибольшихъ скоростей* (чер. 8). Такимъ образомъ общее измѣненіе скоростей отдѣльныхъ струй въ живомъ сѣченіи рѣчного потока происходитъ по поверхности иѣкого параболлоида. Пересѣченіе этой поверхности вертикальными плоскостями, параллельными плоскости живаго сѣченія, даютъ кривыя равныхъ скоростей, называемыя *изотаксами* (черт. 9).

Въ живыхъ сѣченіяхъ правильныхъ, симметричныхъ относительно середины, кривыя равныхъ скоростей (изотаксы) концентричны и имѣютъ общій центръ въ динамической оси потока; въ большинствѣ же случаевъ въ рѣчныхъ потокахъ, подъ вліяніемъ неправильностей русла, концентричность изотаксъ болѣе или менѣе нарушается, и въ очертаніяхъ ихъ замѣчаются неправильные изгибы.

Для русла прямоугольнаго безконечной ширины, изотаксы обращаются въ горизонтальныя прямыя, и для сего случая французскій инженеръ Базенъ, на основаніи произведенныхъ опытовъ въ каналахъ небольшой глубины, далъ слѣдующую формулу, выражающую зависимость между наибольшею скоростью (на поверхности воды)  $V_{max}$  и  $V_x$  на иѣкоторой глубинѣ  $x$  отъ поверхности воды:

$$V_{max} - V_x = K \cdot \sqrt{H \cdot i} \cdot \left(\frac{x}{H}\right)^2 \dots \dots (a)$$

гдѣ  $H$ —глубина живаго сѣченія русла,

$i$ —уклонъ поверхности воды,

$K$ —коэффициентъ; при всѣхъ измѣреніяхъ въ футахъ

$$K = 43,473.$$

Формула эта можетъ быть применима для приблизительнаго выраженія зависимости между скоростями большихъ рѣчныхъ потоковъ малой глубины *въ плоскости динамической оси*.

Средняя скорость  $v$ , по наблюденіямъ того же инженера, въ

земляныхъ руслахъ составляетъ около 0,6 наибольшей скорости  $V_{max}$ , и зависимость между ними выражается формулой

$$V_{max} - v = K_1 \sqrt{R \cdot i} \dots \dots \dots (6)$$

гдѣ  $i$ —уклонъ поверхности потока,

$R$ —подводный радиусъ,

$K_1$ —коэффициентъ; при всѣхъ измѣреніяхъ въ футахъ  $K_1 = 25,36$ .

Если мы представимъ себѣ рѣчной потокъ большой ширины и малой глубины, въ коемъ можемъ предположить *наибольшую скорость* на поверхности и, кромѣ того, принять  $R = H = h =$  средней глубинѣ, то изъ формулъ Базена (а) и (б) получимъ слѣдующую зависимость между средней скоростью  $v$  и скоростью  $V_x$  въ плоскости динамической оси:

$$v - V_x = \left[ K \frac{x^2}{h^2} - K_1 \right] \sqrt{hi}.$$

Если мы предположимъ  $x = h$ , т. е. что  $V_x$  есть скорость на днѣ и обозначимъ ее черезъ  $V_h$ , то будемъ имѣть

$$v - V_h = (K - K_1) \sqrt{hi} = 18,113 \sqrt{hi},$$

а такъ какъ

$$v = \varphi \sqrt{hi}, \text{ то } V_h = (\varphi - 18,113) \sqrt{hi}.$$

Изъ формулы (а) также будемъ имѣть:

$$V_{max} - V_h = K \sqrt{hi} = 43,473 \sqrt{hi} \text{ и } V_h = V_{max} - 43,473 \sqrt{hi}.$$

Среднія скорости въ рѣчныхъ потокахъ вообще бываютъ слѣдующихъ величинъ:

при теченіи слабомъ менѣе 2 ф. въ 1 секунду,

„ „ умѣренномъ отъ 2—4 футовъ,

„ „ быстромъ отъ 4—10 футовъ,

и въ порогахъ достигаютъ 15 футовъ.

### § 3. Общія свойства движенія рѣчного потока.

Взапно соприкасающіяся и связанные между собой нѣкоторымъ сдѣвленіемъ, но въ тоже время обладающія разными поступательными скоростями струи потока не могутъ остаться въ состояніи одного поступательнаго движенія; въ немъ, неизбежно, разностью ско-

ростей вызываются вращательныя движенія, и въ результатѣ соединенія двухъ движеній получается стремленіе элементовъ струй идти не *параллельно*, а *катится* по нѣкоторымъ *вихревымъ* линіямъ, *вихревымъ* поверхностямъ, то приближающимся, то удаляющимся другъ отъ друга. Наглядныя наблюденія показываютъ, что въ открытыхъ руслахъ вихревыя линіи струй, отражаясь отъ дна русла вверхъ и отъ боковъ его къ срединѣ, имѣютъ стремленіе приближаться къ динамической оси потока и что стремленіе это тѣмъ устойчивѣе, чѣмъ болѣе сжать потокъ, т. е. чѣмъ больше въ немъ гидростатическое давленіе и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше средняя скорость его движенія. Въ болѣе или менѣе сжатыхъ потокахъ, текущихъ въ правильныхъ руслахъ, стремленіе струй къ динамической оси приближаетъ ихъ къ параллелизму и въ тоже время порождаетъ нѣкоторое, вообще небольшое, возвышеніе горизонта воды надъ динамическою осью (имѣющее тѣмъ большую величину, чѣмъ больше средняя скорость потока); причемъ отъ плоскости динамической оси къ берегамъ горизонтъ воды постепенно понижается по *параболическому* закону, такъ что поверхность воды въ живомъ сѣченіи такого потока имѣетъ видъ нѣкоторой *параболы*, ось коей вертикальна и проходитъ черезъ динамическую ось потока. Въ потокахъ же не сжатыхъ замѣчается, напротивъ, постоянно мѣняющееся распредѣленіе вихревыхъ линій, какъ бы раздѣленіе всего потока на массу сталкивающихся и колеблющихся отдѣльныхъ группъ струй, отдѣльныхъ потоковъ, имѣющихъ каждый свою динамическую ось.

Къ потокамъ вполнѣ сжатымъ относятся потоки въ водопроводныхъ трубахъ и въ открытыхъ водопроводныхъ руслахъ, имѣющіе такія живыя сѣченія, глубина коихъ не менѣе  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$  ширины. Такіе потоки движутся струями почти параллельными. Рѣчные же потоки, имѣющіе вообще незначительныя сравнительно съ шириною глубины, представляются потоками слабо-сжатыми и болѣе или менѣе приближаются къ состоянію потоковъ сжатыхъ, параллельно-струйныхъ, преимущественно подъ вліяніемъ боковаго сжимающаго дѣйствія центробѣжной силы, т. е. въ криволинейныхъ своихъ частяхъ.

Такъ какъ извѣстныя уравненія гидродинамики могли быть выведены лишь въ предположеніи параллельно-струйнаго движенія потоковъ, и такъ какъ всѣ особенности вихревыхъ дви-

женій въ рѣчныхъ потокахъ не поддаются ни анализу, ни точному наблюденію, то дѣлается совершенно понятнымъ, почему не представляется возможнымъ сверхъ вышеприведенныхъ формулъ дать болѣе точныя выраженія какъ законовъ распредѣленія скоростей въ рѣчныхъ потокахъ, такъ и общихъ условій ихъ движенія.

Поэтому всѣ вышеприведенныя формулы могутъ служить лишь для приблизительнаго уясненія нѣкоторыхъ явленій въ движеніи рѣчныхъ потоковъ, но не для точнаго рѣшенія вопросовъ этого движенія.

Тѣмъ не менѣе естественному быту каждой рѣки, въ связи съ грунтовыми, топографическими и проч. условіями ея бассейна, прпсуща всегда нѣкоторая опредѣленная совокупность гидродинамическихъ элементовъ, и каждая рѣка вырабатываетъ себѣ русло въ планѣ и продольной профили, соответствующее наличнымъ условіямъ ея естественнаго быта.

#### § 4. Движеніе наносовъ.

Каждый рѣчной и вообще естественный водяной потокъ всегда содержитъ въ себѣ и несетъ нѣкоторое болѣе или менѣе значительное количество землистыхъ частицъ, а иногда даже гравія и голыша. Примѣси этихъ веществъ въ водѣ потоковъ, съ одной стороны, являются слѣдствіемъ разрушительной работы самого потока, пролагающаго себѣ дорогу, съ другой—служатъ ему матерьяломъ для мѣстныхъ наращеній русла; поэтому предъ разсмотрѣніемъ хода разработки и образованія русла рѣчныхъ потоковъ представляется необходимымъ уяснить себѣ нѣкоторые законы движенія въ нихъ землистыхъ частицъ.

Вода, перемѣщаясь по своему руслу, оказываетъ на выступющія по поверхности его частицы нѣкоторое давленіе, выражаемое такъ:

$$P = \gamma \cdot \delta \cdot \omega \frac{V^2}{2g}$$

Гдѣ  $V$ —скорость давящей воды,

$g$ —ускореніе силы тяжести,

$\omega$ —площадь поперечнаго сѣченія тѣла по плоскости, перпендикулярной къ направленію давленія,

$\delta$ —вѣсъ единицы объема воды,

$\gamma$ —коэффициентъ.

По Дюбуа и Дюшемену, если длина тѣла по направленію давленія  $L$  и  $\frac{L}{\sqrt{w}} = 1$ , т. е. если тѣло имѣетъ приблизительно кубическую форму, то  $\gamma$  равно 1,45 и до 1,47.

Подъ такого рода давленіемъ, выступающія частицы отдѣляются отъ русла, причемъ тѣ изъ нихъ, которыя расположены на боковыхъ откосахъ русла, очевидно, должны отдѣляться легче, такъ какъ частицы эти сравнительно съ частицами, расположенными на днѣ русла, оказываются слабѣ связанными силою тяжести съ русломъ, находятся въ менѣ устойчивомъ положеніи и подвержены дѣйствию большихъ скоростей воды; отсюда ясно, почему земляныя русла рѣчныхъ потоковъ всегда развѣваются больше въ ширину, чѣмъ въ глубину.

Отдѣленные отъ русла частицы увлекаются водою, и движеніе это происходитъ двоякимъ образомъ: или онѣ катятся по дну, или поднимаются (всплываютъ) въ верхніе слои воды и въ нихъ уже перемѣщаются (на плаву). Въ потокахъ незначительной глубины, съ прозрачною водою, можно нерѣдко видѣть, какъ песокъ и гравій, составляющіе русло, движутся по направленію движенія воды; но нѣтъ достаточныхъ наблюденій, которыя бы опредѣляли, съ какою скоростію происходитъ это движеніе, и какое соотношеніе существуетъ между силою потока и толщиною слоя матерьяловъ, перемѣщающихся по дну его. Можно однако же съ увѣренностію сказать, что подобное перемѣщеніе матерьяловъ русла вообще незначительно, что скорость его зависитъ отъ скорости теченія воды по дну русла \*), и что значительныя массы наносовъ, складываемыя мѣстами рѣкою, иногда на весьма большую высоту, приходятъ къ мѣстамъ отложенія другими способами, а именно на плаву изъ слоевъ воды.

Что всякая текущая вода можетъ нести въ струяхъ своихъ нѣкоторую массу такихъ твердыхъ частицъ, удѣльный вѣсъ коихъ не только равенъ или менѣ, но даже болѣе удѣльнаго вѣса воды, это

---

\*) По наблюденіямъ Дюбуа, при скорости теченія отъ 1 до 2 ф. въ секунду, тонкій песокъ подвигается по дну со скоростью отъ 2-хъ до 13 верствъ въ годъ.

всѣмъ извѣстно и наглядно подтверждается простыми наблюденіями надъ текущими водами; тѣмъ не менѣ явленіе это требуетъ нѣкоторыхъ объясненій. Представимъ себѣ потокъ небольшой, сравнительно съ шириною, глубины (черт. 10), имѣющій наибольшую скорость на поверхности  $U$ , наименьшую скорость на днѣ  $V_h$  и поверхностный уклонъ  $i$ . Измѣненіе скоростей въ вертикальной плоскости по динамической оси потока будетъ выражаться показанною на чертежѣ параболою  $AB$ , и скорость на какой либо глубинѣ  $x$  отъ поверхности, по Базену, будетъ:

$$V_x = U - K\sqrt{hi} \cdot \frac{x^2}{h^2},$$

$$\text{или } V_x = U - \alpha x^2, \text{ если } \frac{K\sqrt{hi}}{h^2} = \alpha.$$

Пусть на нѣкоторой глубинѣ  $x$  отъ поверхности находится небольшое сферическое твердое тѣло радіуса  $r$ . Если мы мысленно проведемъ черезъ центръ тѣла плоскость, параллельную поверхностному уклону потока  $OO'$ , то верхняя и нижняя части тѣла относительно сей плоскости будутъ находиться подъ вліяніемъ разныхъ скоростей теченія, а именно: на верхнюю часть будутъ дѣйствовать сравнительно большія скорости, чѣмъ на нижнюю.

Давленіе теченія на элементъ площади нормальнаго (къ теченію) поперечнаго сѣченія тѣла вообще будетъ:

$$p = \frac{\gamma \delta}{2g} V^2 dw = \beta V^2 dw, \text{ гдѣ } \beta = \frac{\gamma \delta}{2g};$$

а слѣдовательно давленіе на верхнюю часть тѣла будетъ

$$P = \beta \cdot \int_x^{(x-r)} V^2 \cdot dw = \beta \cdot \frac{\pi r^2}{2} \cdot V_0^2,$$

и соотвѣтственно на нижнюю:

$$P_1 = \beta \cdot \frac{\pi r^2}{2} \cdot V_1^2,$$

гдѣ  $V_0$  и  $V_1$  суть не что иное, какъ среднія скорости струй, дѣйствующихъ на верхнюю и на нижнюю часть тѣла. Предположимъ, что центры давленій на верхнюю и нижнюю часть тѣла или, что

то же, точки приложенія скоростей  $V_0$  и  $V_1$ , удалены отъ центра тѣла на величины  $\mu$  и  $\mu_1$  и, въ виду незначительныхъ размѣровъ тѣла, для сокращенія вычисленій, допустимъ, что  $\mu = \mu_1 = nr$ ; тогда будемъ имѣть: равнодѣйствующая давленій, увлекающая тѣло въ направленіи теченія

$$R = P + P_1 = \beta \cdot \frac{\pi r^2}{2} (V_0^2 + V_1^2),$$

и моментъ вращенія тѣла въ сторону большей скорости

$$M = P\mu - P_1\mu_1 = \frac{\beta\pi r^3 n}{2} (V_0^2 - V_1^2).$$

Но  $V_x = U - \alpha x^2,$

а слѣдовательно:

$$\begin{aligned} V_0 &= U - \alpha (x - nr)^2 \\ V_1 &= U - \alpha (x + nr)^2; \end{aligned}$$

или:

$$\begin{aligned} V_0 + V_1 &= 2U - 2\alpha (x^2 + nr^2) \\ V_0 - V_1 &= 4anrx; \end{aligned}$$

откуда:

$$V_0^2 - V_1^2 = 8axnr [U - \alpha x^2 - \alpha nr^2] = 8anrx [V_x - nr^2],$$

такъ что:

$$M = 4\beta\pi r^4 n^2 \alpha [V_x - \alpha nr^2] x,$$

а вставляя вмѣсто  $\alpha$  и  $\beta$  ихъ величины:

$$M = \frac{4K \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \sqrt{hi} \cdot r^4 \cdot n^2}{2gh^2} \left[ V_x - \frac{K\sqrt{hi} \cdot n^2 r^2}{h^2} \right] x.$$

Подъ вліяніемъ этого момента, дѣйствующаго въ сторону бѣльшей скорости, тѣло будетъ катиться вверхъ по нѣкоторой кривой, имѣющей въ началѣ движенія вертикальную касательную  $nm'$ . Моментъ этого катанія можетъ быть выраженъ еще чрезъ  $tr$ , гдѣ  $t$  есть нѣкоторая вертикальная сила, приложенная въ центрѣ тѣла, и  $r$  радіусъ тѣла; а потому изъ уравненія

$$tr = M$$

получимъ:

$$t = \frac{4K\gamma\delta\sqrt{hi}\pi r^3 n^2}{2gh^2} \left[ V_x - \frac{K\sqrt{hi} \cdot n^2 r^2}{h^2} \right] \cdot x.$$

Раздѣляя эту величину  $t$  на объемъ погруженнаго тѣла  $\frac{4}{3}\pi r^3$ , мы получимъ специфическую подъемную силу  $t_1$ , т. е. отнесенную къ единицѣ объема:

$$t_1 = \frac{3K\gamma\delta\sqrt{hi}n^2}{2gh^2} \left[ V_x - \frac{K\sqrt{hi}n^2r^2}{h^2} \right] x,$$

и видимъ, что подъемная сила на единицу объема тѣмъ больше, чѣмъ размѣры тѣла меньше: поэтому *мелкія тѣла поднимаются потоками легче, чѣмъ крупныя.*

Для дальнѣйшаго изслѣдованія подъемной силы  $t$ , предположимъ сперва  $x = h$ , т. е. рассмотримъ подъемную силу  $t_h$  на *днѣ* потока. Такъ какъ по предыдущему

$$V_x = U - \alpha x^2 = \varphi\sqrt{hi} - \frac{K\sqrt{hi}}{h^2} x^2,$$

откуда при  $x = h$ ,  $V_h = (\varphi - K)\sqrt{hi}$ , то подъемная сила на днѣ потока будетъ:

$$\begin{aligned} t_h &= \frac{4K\gamma\delta V\sqrt{hi}\pi r^3 n^2}{2gh^2} \left[ (\varphi - K)\sqrt{hi} - \frac{K\sqrt{hi}n^2r^2}{h^2} \right] \cdot h = \\ &= \frac{4K\gamma\delta\pi r^3 n^2 hi}{2gh} \left[ \varphi - K \left( 1 - \left( \frac{nr}{h} \right)^2 \right) \right]. \end{aligned}$$

Слѣдовательно, при постоянномъ  $h$ , подъемная сила  $t$  увеличивается съ возрастаніемъ  $i$ . Посмотримъ, какъ измѣняется  $t$  съ измѣненіемъ  $h$  при постоянной скорости  $V_h$ . Такъ какъ  $V_h = (\varphi - K)\sqrt{hi}$ , то  $hi$  будетъ оставаться постояннымъ при постоянномъ  $V_h$ , а такъ какъ двучленъ  $\left[ 1 - \left( \frac{nr}{h} \right)^2 \right]$ , при достаточно большой глубинѣ въ сравненіи съ размѣрами тѣла, будетъ близокъ къ единицѣ, то мы можемъ принять, что

$$t_h = \frac{4K\gamma\delta\pi r^3 n^2 hi}{2gh} \left[ \varphi - K \right] = \frac{4k\gamma\delta\pi r^3 n^2 V_h}{2gh},$$

откуда видно, что, при постоянной скорости  $V_x$ , подъемная сила на днѣ потока возрастаетъ съ уменьшеніемъ глубины. Отсюда понятно, почему горные потоки небольшой глубины и большой скорости обладаютъ способностью подымать большія количества крупныя твердыя вещества, какъ то гравія, голыша и даже камней.

Чтобы выяснитъ далѣе, какъ измѣняется подъемная сила  $t$  въ данномъ потокѣ для даннаго тѣла, по мѣрѣ перемѣщенія тѣла снизу вверхъ, мы можемъ написать выраженіе ея слѣдующимъ образомъ:

$$t = a(V_x - b)x,$$

гдѣ  $a$  и  $b$  не зависятъ отъ  $x$ , и затѣмъ, полагая  $(V_x - b)x = hy$ , и строя величины  $y$ , соотвѣтствующія величинамъ  $x$  по уравненію  $y = \frac{(V_x - b)x}{h}$ , получимъ кривую  $BD$  (черт. 10), выражающую измѣненія величины  $y$ , пропорціонально которой измѣняется послѣдующая сила  $t$  по уравненію:

$$t = ah y.$$

Кривая  $BD$  показываетъ, что сила  $t$ , по мѣрѣ поднятія тѣла вверхъ, уменьшается.

На каждое тѣло, находящееся въ потокѣ, кромѣ этой силы, дѣйствуютъ еще въ вертикальномъ направленіи слѣдующія силы: внизъ—сила тяжести, имѣющая для тѣла сферическаго величину  $\frac{4}{3}\pi r^3 \delta \varphi$ , гдѣ  $\delta$  вѣсъ единицы объема воды, а  $\varphi$  — удѣльный вѣсъ тѣла; и вверхъ—гидростатическое давленіе, имѣющее для того же тѣла величину  $\frac{4}{3}\pi r^3 \delta$ .

Поэтому общее приближительное выраженіе силы, дѣйствующей снизу вверхъ на сферическое тѣло радіуса  $r$ , будетъ слѣдующее:

$$T = t + \frac{4}{3}\pi r^3 \delta - \frac{4}{3}\pi r^3 \delta \varphi, \text{ или}$$

$$T = \frac{4}{3}\pi r^3 \delta \left[ \frac{3K\sqrt{hi}n^2}{2gh^2} \left( V_x - \frac{K\sqrt{hi}n^2 r^2}{h^2} \right) x + 1 - \varphi \right].$$

Въ этомъ выраженіи по вышеобъясненному первый переменный членъ въ скобкахъ уменьшается: во-первыхъ для всякаго тѣла по

мѣрѣ уменьшенія  $x$ , т. е. по мѣрѣ подъема тѣла въ верхніе слои потока; во-вторыхъ, онъ уменьшается независимо отъ  $x$ , т. е. при всякомъ положеніи тѣла, съ увеличеніемъ размѣровъ тѣла; кромѣ того величина  $T$  по данному выраженію, очевидно, уменьшается со всякимъ случайнымъ уменьшеніемъ скорости  $V_x$ , и съ увеличеніемъ удѣльнаго вѣса тѣла  $\varphi$ , при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ. Поэтому можно сказать, что каждое попадающее въ потокъ тѣло можетъ быть вообще поднято потокомъ отъ дна лишь до нѣкоторой опредѣленной высоты, соответствующей размѣрамъ и удѣльному вѣсу тѣла; что потокъ имѣетъ способность подымать на большую высоту отъ дна изъ тѣлъ равнаго объема тѣла меньшаго удѣльнаго вѣса и изъ тѣлъ одинаковаго удѣльнаго вѣса—тѣла меньшаго объема; и наконецъ, что потокъ можетъ удерживать въ взвѣшенномъ состояніи, на извѣстномъ отъ дна уровнѣ, поднятое имъ тѣло лишь до тѣхъ поръ, пока скорость  $V_x$  слоя несущаго тѣло не пзмѣняетъ своей величины: при всякомъ случайномъ уменьшеніи сей скорости тѣло станетъ опускаться внизъ.

Такъ какъ въ горизонтальныхъ плоскостяхъ скорости струй потока постепенно увеличиваются отъ береговъ къ плоскости динамической оси потока, по параболическому закону, аналогично съ увеличеніемъ скоростей отъ дна къ поверхности потока, то взвѣшенное въ какомъ либо слое потока тѣло, въ силу разности скоростей струй этого слоя, по тѣмъ же причинамъ, которыя нами выяснены для вертикальнаго его движенія, будетъ перемѣщаться отъ берега потока къ плоскости динамической оси его, и въ этомъ перемѣщеніи остановится въ такомъ разстояніи отъ плоскости динамической оси потока, которое соответствуетъ его размѣрамъ, а именно подойдетъ къ плоскости динамической оси потока тѣмъ ближе, чѣмъ размѣры его меньше.

Изъ всего сказаннаго также слѣдуетъ, что если нѣсколько тѣлъ несомыхъ потокомъ, двигаясь снизу вверхъ или отъ береговъ потока къ плоскости динамической оси его, или, наконецъ, въ направленіи теченія потока, сблизятся между собой до нѣкотораго сѣбленія, т. е. настолько, что будутъ представлять какъ бы одно тѣло: то эта группа тѣлъ, послѣ соединенія своего, начнетъ опускаться внизъ до того слоя, въ коемъ по объему своему будетъ въ состояніи удерживаться; поэтому каждый слой потока можетъ нести лишь извѣстное

свойственное ему количество тѣлъ и выдѣляетъ или осаждаетъ всѣ тѣ тѣла, которыя поступаютъ въ него сверхъ предѣла его насыщения.

Хотя формулы, послужившія намъ основаніемъ для сказанныхъ выводовъ, далеко не заключаютъ въ себѣ всѣхъ тѣхъ условій, въ которыхъ дѣйствительно находится движеніе твердыхъ тѣлъ въ потокахъ воды, и хотя движеніе это значительно еще осложняется и видоизмѣняется не параллельноструйностью потоковъ и вихревыми въ нихъ движеніями; тѣмъ не менѣе всѣ выведенные нами основные законы движенія твердыхъ тѣлъ въ потокахъ или, какъ говорятъ, законы *движенія наносовъ*, вполне подтверждаются наблюденіями надъ рѣчными потоками. Дѣйствительно оказывается, что рѣчные потоки поднимаютъ попадающія въ нихъ какъ отъ размыва русла, такъ и извѣстныя твердыя тѣла въ такомъ порядкѣ, что болѣе крупныя изъ нихъ располагаются въ струяхъ болѣе низкихъ и болѣе близкихъ къ берегамъ; другими словами, — что матеріалы наносовъ въ рѣчныхъ потокахъ разсортировываются сплю самого потока по слоямъ и струямъ его снизу вверхъ и отъ береговъ къ плоскости динамической оси потока въ порядкѣ постепенно убывающей ихъ крупности; причемъ матеріалы большаго удѣльнаго вѣса всегда поднимаются на меньшую высоту отъ дна, и степень насыщения слоевъ потока твердыми веществами постепенно убываетъ снизу вверхъ и отъ береговъ къ плоскости динамической оси потока. Кромѣ сего наблюдается, что при каждомъ уменьшеніи скорости теченія, какъ въ отдѣльныхъ струяхъ и слояхъ, такъ и въ общей массѣ потока, происходитъ осажденіе несомыхъ имъ твердыхъ веществъ, т. е. наносовъ.

Изложенные нами законы объясняютъ всѣ явленія передвиженія и отложенія наносовъ рѣчными потоками.

Такъ, дѣлается совершенно яснымъ, почему крупность матеріаловъ въ наносныхъ отложеніяхъ рѣчныхъ потоковъ вообще постепенно уменьшается отъ верховьевъ потоковъ къ низовьямъ, т. е. почему наносныя отложенія состоятъ въ верховыхъ частяхъ рѣчныхъ потоковъ изъ болѣе крупныхъ матеріаловъ, чѣмъ въ низовыхъ. Причина этого явленія, очевидно, заключается вообще въ послѣдовательномъ уменьшеніи среднихъ скоростей потоковъ отъ верховьевъ къ низовьямъ, соотвѣтственно уменьшенію ихъ поверхностныхъ уклоновъ.

То, что наносныя отложенія въ рѣкахъ вообще состоятъ изъ наслоеній матеріаловъ, крупность коихъ постепенно убываетъ отъ

нижнихъ слоевъ къ верхнимъ, прямо объясняется тѣмъ послѣдовательнымъ порядкомъ, въ коемъ матеріалы эти несутся въ рѣчномъ потокѣ и осаждаются изъ него.

Наносныя отложенія, обыкновенно образующіяся въ ушпренныхъ частяхъ русла рѣчныхъ потоковъ, а также въ устьяхъ ихъ при впаденіи въ другіе потоки, въ озера и моря, очевидно, являются слѣдствіемъ уменьшенія среднихъ и частныхъ скоростей теченія, несущаго наносы; причеиъ это уменьшеніе скоростей происходитъ: въ уширеніяхъ русла — отъ увеличенія площади живаго сѣченія потока, отъ уменьшенія сжатія его и отъ ударовъ струй въ вихревыхъ движеніяхъ; въ устьяхъ же рѣкъ — отъ ударныхъ потерь, при встрѣчѣ двухъ двигающихся массъ воды или движущейся массы воды съ водою стоячею.

Мы уже сказали, что твердыя вещества, несомыя потокомъ, вообще являются съ одной стороны продуктомъ размыва его русла, съ другою—матеріаломъ для наращенія его русла; но изъ этого не слѣдуетъ, что всѣ твердыя вещества получаютъ рѣчными потоками исключительно отъ размыва ихъ собственныхъ русель. Напротивъ, въ большинствѣ случаевъ главная масса твердыхъ веществъ приносится въ рѣчные потоки изви: ихъ притоками и наземными атмосферными водами, стекающими со скатовъ ихъ бассейновъ. Поэтому количество матеріаловъ для наносныхъ отложеній въ рѣчныхъ потокахъ зависитъ не только отъ степени размываемости ихъ русель, но еще въ большей степени отъ площадей, геологическихъ и топографическихъ условій ихъ бассейновъ, и въ каждомъ потокѣ измѣняется въ зависимости какъ отъ измѣненій силы размывающей его русло, такъ и отъ количества притекающихъ въ него наземныхъ атмосферныхъ водъ.

### § 5. Образованіе русла рѣчныхъ потоковъ.

Въ разработкѣ и устройствѣ своего русла рѣка достигаетъ наибольшихъ результатовъ во время половодья, потому что въ это время она обладаетъ наибольшею размывающею силою и изви получаетъ наибольшее количество наносовъ. Созданное ею въ это время русло подъ вліаніемъ меженныхъ водъ подвергается сравнительно незначительнымъ измѣненіямъ, которыя при вновь слѣдующихъ па-

водкахъ и половодьяхъ сглаживаются, исчезаютъ или совершенно преобразуются.

Въ общихъ чертахъ разработка русла рѣки имѣетъ слѣдующій ходъ.

Представляя собою вообще потокъ слабо-сжатый, способный раздѣляться на отдѣльныя группы струй, катящихся по вихревымъ линіямъ и отражающихся въ разныя стороны, рѣка прежде всего не можетъ сохранить прямолинейнаго направленія и въ планѣ разрабатываетъ себѣ русло въ видѣ цѣпи соприкасающихся обратныхъ кривыхъ; причемъ иногда происходитъ и раздѣленіе русла ея на криволинейныя рукава (черт. 11).

Такой характеръ образованія рѣчныхъ руселъ можно видѣть на планахъ всѣхъ рѣкъ.

Въ образующихся криволинейныхъ частяхъ русла вихревыя линіи струй рѣчнаго потока подъ вліяніемъ центробѣжной силы сжимаются къ вогнутымъ берегамъ; въ томъ же направленіи перемѣщается динамическая ось потока, и у вогнутыхъ береговъ устанавливается замѣтно параллельно-струйное движеніе, скорости теченія растутъ, и подмывъ русла увеличивается до тѣхъ поръ, пока размывающая сила воды не уравнивается съ сопротивленіемъ грунта русла; въ то же время у выпуклыхъ береговъ происходитъ соотвѣтственное уменьшеніе скоростей теченія, и берега эти нарастаютъ напосами, такъ что поперечное сѣченіе русла получаетъ наибольшія глубины у вогнутого берега и видъ показанный на черт. 12. Разрабатывая себѣ такимъ образомъ русло въ планѣ, рѣка какъ бы стремится прійти въ состояніе сжатого параллельно-струйнаго потока и достигаетъ этого въ нѣкоторой степени въ криволинейныхъ частяхъ у вогнутыхъ береговъ; слабо сжатое же ея состояніе сохраняется въ ушреніяхъ русла, у раздѣленій его на рукава, въ переходахъ его изъ одной кривизны въ другую обратную и въ частяхъ его, сохраняющихъ слабую кривизну или прямолинейность въ силу особыхъ мѣстныхъ обстоятельствъ; причемъ недостатокъ сжатія рѣчнаго потока въ этихъ мѣстахъ усиливается въ межень. Стремленіе рѣчнаго потока создавать себѣ криволинейное русло чрезвычайно наглядно подтверждается расположеніемъ наносныхъ отложеній въ тѣхъ его частяхъ, которыя въ силу мѣстныхъ обстоятельствъ сохраняютъ прямолинейное или слабо криволинейное направленіе въ планѣ. Эти отложенія вообще располагаются какъ показано на черт. 13.

Иди по уклонамъ долины, рѣка встрѣчаетъ на пути своемъ: во 1-хъ, грунты, представляющіе неодинаковое сопротивленіе размыву и мѣстамъ иногда такіе крѣпкіе грунты, которые можно назвать неразмываемыми; во 2-хъ, неравнобѣрные ушпренія и сѣуженія долины и въ продольной профили представляетъ собою, какъ выше сказано, потокъ съ поверхностнымъ уклономъ, постепенно, но неравнобѣрно, уменьшающимся отъ верховьевъ къ низовьямъ по нѣкоторой слабо-волнообразной кривой, близкой къ ломаной линіи, части которой послѣдовательно то больше, то меньше наклонены къ горизонту.

Въ грунтахъ неразмываемыхъ русло рѣчнаго потока углубляться не можетъ; въ грунтахъ же размываемыхъ, въ тѣхъ участкахъ рѣчнаго потока, гдѣ поверхностный его уклонъ во время высокыхъ водъ больше уклона сосѣднихъ (выше и ниже лежащаго) участковъ, — происходитъ бѣльшее углубленіе русла; въ участкахъ же, гдѣ во время высокыхъ водъ поверхностный уклонъ меньше уклона сосѣднихъ участковъ, русло углубляется меньше, иногда, — не поддаваясь размыву при существующихъ скоростяхъ теченія, — вовсе не размывается, и иногда не только не размывается, но даже наращается до извѣстнаго предѣла наносами. Поэтому русло каждой рѣки въ продольной профили состоитъ изъ пониженныхъ глубокихъ мѣстъ — *плесовъ*, раздѣленныхъ между собою повышенными, болѣе мелкими мѣстами, называемыми *порогами*, *перевалами* и *перекатами*.

*Порогами* называются такія *повышенія русла* рѣки съ значительнымъ паденіемъ въ сторону теченія, которыя при самыхъ большихъ скоростяхъ и поверхностныхъ уклонахъ потока не размываются; пороги, очевидно, могутъ быть лишь въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ рѣка встрѣчаетъ неразмываемые скалистые и каменистые грунты.

*Перевалами* называются такія *повышенія русла* въ размываемыхъ грунтахъ, которыя при существующихъ сравнительно небольшихъ скоростяхъ и поверхностныхъ уклонахъ потока не поддаются размыву; перевалы, очевидно, могутъ встрѣчаться во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ рѣки, гдѣ скорости теченія во время высокыхъ водъ, соответствующія поверхностнымъ уклонамъ потока, или вообще недостаточны для размыва грунтовъ русла, или имѣютъ величину меньшую скоростей сосѣднихъ участковъ. Въ связи съ планомъ русла такія мѣста могутъ встрѣчаться въ ушпреніяхъ и раздѣленіяхъ русла на рукава, въ переходахъ его изъ одной кривизны въ другую, въ

прямыхъ и слабокриволинейныхъ его частяхъ и наконецъ въ такихъ не слабо-криволинейныхъ частяхъ его, которыя и при достаточномъ сжатіи потока не обладаютъ потребными для размыва грунта скоростями.

*Перекатами* называются такія новышенія русла рѣки, которыя образуются отъ сложенія въ немъ наносовъ.

Перекаты представляютъ собою какъ бы *перемѣнные перевалы*, возвышающіеся съ уменьшеніемъ скоростей потока, понижающіеся съ увеличеніемъ ихъ и перемѣщающіеся внизъ по теченію рѣки, при измѣненіяхъ ея русла въ планѣ. Перекаты являются въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ, во время высокихъ водъ, скорости теченія, соответствующія поверхностнымъ уклонамъ потока, значительно меньше скоростей сосѣднихъ участковъ, и гдѣ, при спадѣ водъ и въ межень, потокъ отличается слабымъ сжатіемъ, а именно: въ уширеніяхъ и въ раздѣленіяхъ русла на рукава, въ переходахъ его изъ одной кривизны въ другую обратную, въ прямыхъ и слабо-криволинейныхъ частяхъ его.

Поверхностный уклонъ рѣчнаго потока въ одномъ и томъ же участкѣ при разныхъ расходахъ, какъ выше сказано, измѣняется: то увеличивается, то уменьшается. Въ плесахъ поверхностный уклонъ потока обыкновенно имѣетъ наибольшую величину во время высокихъ водъ, съ наденіемъ горизонта воды постепенно уменьшается и наименьшую величину получаетъ во время межени, при самомъ низкомъ горизонтѣ воды; на перевалахъ и перекатахъ поверхностный уклонъ потока обыкновенно имѣетъ наименьшую величину во время высокихъ водъ, съ пониженіемъ горизонта воды увеличивается и получаетъ наибольшую величину во время межени при самомъ низкомъ горизонтѣ воды; во время межени поверхностный уклонъ потока на перевалахъ в перекатахъ всегда больше поверхностного уклона потока въ прилежащихъ къ нимъ плесахъ (см. черт. 14).

Такъ какъ средняя скорость, живая сила потока и скорость на днѣ его, отъ которыхъ зависятъ способности потока размывать свое русло и проносить наносы, тѣмъ больше, чѣмъ больше поперечный уклонъ потока и чѣмъ больше его глубина, то въ плесахъ и прочихъ частяхъ рѣки пониженіе горизонта воды оказываетъ совершенно различныя вліянія на углубленіе русла и проношеніе наносовъ. Въ плесахъ, но мѣрѣ пониженія горизонта воды, уменьшаются

глубина и поверхностный уклонъ потока, причемъ происходитъ постепенное уменьшеніе скорости на днѣ, средней скорости и живой силы воды, а вмѣстѣ съ тѣмъ, постепенно прекращается размывъ русла, происходившій во время высокихъ водъ, и начинается иногда нѣкоторое осажденіе наносовъ въ углубленномъ руслѣ, т. е. обратное наращеніе его. На перевалахъ и перекатахъ, съ пониженіемъ горизонта, уменьшается глубина, но увеличивается поверхностный уклонъ потока и вслѣдствіе преобладающаго вліянія увеличенія уклона скорость на днѣ, средняя скорость и живая сила потока возрастаютъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ не только прекращается бывшее при высокихъ водахъ отложеніе наносовъ, но постепенно наступаетъ размывъ и снесеніе ихъ. На перевалахъ, наступающее по мѣрѣ спада высокихъ водъ, снесеніе наносовъ идетъ энергично, и перевалы освобождаются отъ нихъ въ большей или меньшей степени, что зависитъ отъ сжатія потока на нихъ во время межени. На перекатахъ же рѣчной потокъ вообще слабо сжатъ и по мѣрѣ пониженія горизонта воды въ большинствѣ случаевъ теряетъ свое сжатіе, т. е. все въ большей и большей степени приобретаетъ способность раздѣляться на отдѣльныя группы струй, катящихся не параллельно и сталкивающихся другъ съ другомъ. Поэтому процессъ размыва и снесенія наносовъ, наступающій съ пониженіемъ горизонта воды до нѣкакого предѣла, на перекатахъ идетъ въ большинствѣ случаевъ постепенно ослабѣвая, медленно и неравномѣрно: въ мѣстахъ соединеннаго дѣйствія струй—наносы размываются и несутся, въ мѣстахъ же столкновенія ихъ—вновь складываются на перекалъ и перекалъ во время межени, обыкновенно, представляется покрытымъ массою разнообразныхъ подводныхъ и надводныхъ отмелей, раздѣленныхъ извилистыми, колеблющимися и перемѣщающимися протоками разной глубины. Отмели эти то подмываются, то нарастаютъ съ разныхъ сторонъ, но все-таки имѣютъ нѣкоторое опредѣленное наступательное движеніе къ нижележащему плесу.

Если изобразить очертанія рѣчнаго русла въ планѣ горизонталями, то получимъ видъ подобный чертежу 15. Линія *ab*, соединяющая точки перелома горизонталей, есть линія наибольшихъ глубинъ: она въ большинствѣ случаевъ совпадаетъ съ проекціей динамической ося потока и называется *стрержнемъ* рѣки; это есть ось фарватера или судового хода по рѣкѣ. Линія наибольшихъ глубинъ

въ планѣ приближается болѣе къ вогнутымъ берегамъ и въ переходахъ изъ одной кривизны русла въ другую, обратную, дѣлаетъ иногда крутые повороты (*тн*), въ копхъ судоходство встрѣчаетъ немаловажныя препятствія.

Итакъ мы видимъ, что каждая рѣка вырабатываетъ себѣ русло въ планѣ и въ продольной профили съ такимъ относительнымъ расположеніемъ поворотовъ, рукавовъ, пониженій (плесовъ) и повышеній (переваловъ и перекатовъ), которое соотвѣтствуетъ всѣмъ даннымъ условіямъ ея естественнаго быта; но эти естественныя условія во всѣхъ своихъ частяхъ, какъ намъ извѣстно, не остаются неизмѣнными, а именно: количества воды, питающія рѣку въ разное время года, измѣняются; количества наносовъ, получаемыхъ ею отъ разработки своего русла и извнѣ, также измѣняется; кромѣ того берега ея подвергаются постоянно медленнымъ, постепеннымъ или же внезапнымъ подмывамъ и обрушеніямъ; въ устьяхъ временныхъ и постоянныхъ притоковъ ея образуются и нарастаютъ отмели (бары), дѣйствующія какъ струеотводныя сооруженія, возводимыя самою природою; наконецъ въ руслѣ ея происходятъ случайныя засоренія отъ падающихъ камней, деревьевъ и устраиваются сооруженія съ разными цѣлями, или производящія стѣсненіемъ жлваго сѣченія чувствительное увеличеніе скоростей потока, или отклоняющія динамическую ось его отъ естественнаго положенія. Вслѣдствіе всѣхъ этихъ причинъ въ руслахъ рѣкъ, въ особенности въ слабыхъ, легко размываемыхъ грунтахъ, происходятъ временныя или постоянныя, болѣе или менѣе значительныя, медленныя или внезапныя измѣненія въ планѣ и въ продольной профили. Постоянство, большая или меньшая значительность, медленность или внезапность этихъ измѣненій зависятъ отъ характера и силы причинъ ихъ вызывающихъ. Во всякомъ случаѣ происходящія въ руслахъ рѣкъ измѣненія совершаются въ извѣстныхъ предѣлахъ, и предѣлы эти устанавливаются самою природою:

во 1-хъ, въ тѣхъ опорныхъ точкахъ плана и продольной профили русла, которыя рѣчной потокъ, при наибольшей возможной его силѣ, не можетъ размыть и устранить,

и во 2-хъ, въ томъ, что производимыя рѣкою измѣненія въ собственномъ ея руслѣ имѣютъ обратныя вліянія на силу ея потока; такъ напр. по мѣрѣ размыва русла, съ *увеличеніемъ площади жи-*

ваго сьченія потока или съ уменьшеніемъ поверхностнаго уклона его (подъ вліяніемъ удлинненія въ кривыхъ частяхъ), скорости теченія убываютъ, и вслѣдствіе сего наступаетъ такое состояніе потока, въ которомъ работа его по размыву русла *ослабѣваетъ* и наконецъ *прекращается*; точно также, по мѣрѣ засоренія русла наносами, съ уменьшеніемъ площади живаго его сьченія, скорости теченія возрастаютъ и отложеніе наносовъ *постепенно прекращается*.

### § 6. Ледъ и его движенія.

Среди явленій, имѣющихъ большое значеніе на внутреннихъ водяныхъ путяхъ, одно изъ важныхъ мѣсть занимаетъ образованіе и движеніе льда (ледоходъ) на ихъ поверхности.

Ежегодно, отъ начала замерзанія до окончательнаго удаленія льда (растаяніемъ или уходомъ), внутренніе водяные пути вообще недоступны для судоходства. Періодъ этотъ въ разныхъ климатическихъ полосахъ имѣетъ разную продолжительность и въ Россіи слѣдующую: въ сѣверной полосѣ около 6 мѣсяцевъ; въ средней— около 4—5 мѣсяцевъ и въ южной около 3—4 мѣсяцевъ; причѣмъ остальное время года, въ которое водяные пути открыты для пользованія, называется *судоходнымъ или навигаціоннымъ* \*).

Образованіе и движеніе льда на поверхности внутреннихъ водяныхъ путей не только сокращаетъ время полезной ихъ дѣятельности, но еще оказываетъ вліяніе на русла ихъ и сооруженія въ нихъ возводимыя.

Такъ, образовавшійся и покоющійся на поверхности воды ледъ съ повышеніемъ горизонта воды подымается, а съ пониженіемъ его опускается и производитъ на сооруженія, къ коимъ онъ приверзъ, давленіе то вверхъ, то внизъ.

Вслѣдствіе сихъ давленій, обмерзающія въ водѣ сооруженія могутъ не только подвергаться поврежденіямъ въ боковыхъ поверхностяхъ своихъ, сдѣланныхъ со льдомъ, но и быть подняты съ основаній своихъ или выдернуты изъ грунта. Ледъ же, поднятый,

\*) Судоходный періодъ иногда сокращается: на некоторыхъ рѣкахъ чрезмѣрно высокими паводками, представляющими опасности для судоходства; а на некоторыхъ озерахъ—бурами.

оторванный от берегов водою и за спмъ, подъ вліаніемъ теченія и вѣтровъ, пришедшій въ движеніе, можетъ производить *трениемъ* и ударами значительныя поврежденія въ сооруженіяхъ и берегахъ. Кромѣ сего въ рѣкахъ ледоходъ иногда сопровождается весьма опаснымъ явленіемъ, называемымъ ледяными *зажорами* или *заторами*. Явленіе это заключается въ слѣдующемъ. Движущіяся массы льда, встрѣчая нѣкоторыя препятствія своему движенію, въ какомъ либо мѣстѣ рѣки спираются и останавливаются; натягающія ихъ новыя массы или наскакиваютъ, нагромождаются сверху и топятъ ихъ внизъ, покрываясь въ свою очередь новыми массами льда или же подбиваются теченіемъ внизъ подъ остановившіяся массы; такимъ образомъ въ рѣкѣ постепенно образуется ледяная плотина (*зажоръ* или *заторъ*), препятствующая теченію воды. Горизонтъ воды съ верховой стороны плотины подымается, а вмѣстѣ съ тѣмъ растетъ и плотина до тѣхъ поръ, пока вода напоромъ своимъ не прорветъ ее, или не вымоетъ себѣ новаго русла въ обходъ ея. До прорыва *зажора*, происходитъ наводненіе мѣстностей по верховой сторонѣ его; послѣ прорыва *зажора* подвергаются опасности мѣстности и части русла рѣки, лежація въ низовой сторонѣ, потому что прорвавшійся потокъ рветъ и сноситъ съ страшною силою все, встрѣчающееся ему на пути.

Причины остановокъ и спирания льда, а слѣдовательно и образованія *зажоровъ* въ рѣкахъ, можно раздѣлить на двѣ категоріи:

1) *причины внѣшнихъ*, случайныхъ, не связанныхъ со свойствами самого потока и естественнаго его русла. Этого рода причины заключаются въ случайныхъ засореніяхъ русла и иногда въ сооруженіяхъ, возводимыхъ въ руслѣ съ разными цѣлями, но безъ надлежащаго соображенія относительно свободнаго проуска льда, и

2) *причины естественныхъ*, т. е. зависящихъ отъ естественныхъ условій *ледохода*, потока и его русла. Причины этого рода складываются изъ слѣдующихъ обстоятельствъ.

Толщина образующагося въ рѣкѣ льда зависитъ не только отъ бывающаго въ зимнее время пониженія температуры, но еще отъ скорости и глубины теченія. Чѣмъ скорость теченія больше, а также чѣмъ глубина больше, тѣмъ при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, толщина образующагося льда меньше и наоборотъ. Поэтому въ мѣстахъ слабыхъ скоростей и малыхъ глубинъ у насъ не-

рѣдко происходитъ промерзаніе воды до дна рѣчнаго русла, причѣмъ потокъ прорабатываетъ себѣ подѣ льдомъ болѣе глубокой ходъ въ одной какой либо части своей ширины. Такого рода ледяныя загражденія русла, не оттаявшія или непокрытыя толстымъ слоемъ воды предѣ наступленіемъ ледохода въ вышележащихъ частяхъ рѣки, очевидно, могутъ быть удобнымъ мѣстомъ для образованія зажора, и нерѣдко бываютъ причинами зажоровъ въ рѣкахъ, текущихъ съ юга къ сѣверу.

Кромѣ сего, такъ какъ ни пониженія температуры, ни скорости теченія, ни глубины, ни ширины по урѣзу воды на всемъ протяженіи рѣки вообще не имѣеть однообразныхъ величинъ, то количество образующагося льда въ разныхъ участкахъ рѣки обыкновенно имѣеть разнообразныя величины по площади и толщинѣ.

За сямъ, такъ какъ подъемъ рѣчнаго льда, его разломъ и движеніе начинается во время паводковъ послѣ сплывныхъ оттепелей обыкновенно въ началѣ весенняго половодья, наступающаго по всему протяженію рѣки не одновременно и съ разною силою, и такъ какъ въ разныхъ участкахъ рѣки количество льда увеличивается еще въ различной степени льдомъ изъ притоковъ; то ледъ по теченію рѣкъ вообще двигается крайне неравномѣрными массами, идетъ въ разныхъ участкахъ рѣки при разныхъ горизонтахъ съ разными скоростями и встрѣчаетъ для своего прохода то болѣе, то менѣе достаточныя ширины и глубины русла, а потому во время своего движенія то сплотняется, то разсѣвается.

Сплотненіе движущагося льда происходитъ при уменьшеніи скоростей теченія, а также въ крутыхъ колѣнахъ русла; и если, за сямъ, сплотившаяся масса льду встрѣчаетъ ширину русла или глубину русла, недостаточныя для ея свободнаго прохода, то останавливается и производитъ зажоръ.

Изъ всего сказаннаго о льдѣ и ледоходѣ на внутреннихъ водныхъ путяхъ мы видимъ, что при изученіи водныхъ путей и въ особенности рѣкъ въ Россіи, съ цѣлью улучшенія ихъ, необходимо собирать свѣдѣнія:

- 1) о времени и горизонтѣ ихъ замерзанія (ледостава).
- 2) о времени и горизонтѣ ледохода на нихъ.
- и 3) о силѣ и характерѣ ледохода въ особенности по отношенію къ возможности образованія *зажоровъ*.

## Г Л А В А II.

*Способы передвиженія грузовъ по внутреннимъ воднымъ путямъ и условія путей, имъ соответствующія.*

## § 1. О способахъ передвиженія грузовъ водою вообще.

Самымъ первобытнымъ способомъ перемѣщенія грузовъ по водѣ представляется *сплавъ*, т. е. передвиженіе ихъ силою теченія.

Способъ этотъ, указанный человеку самою природою, очевидно, можетъ имѣть примѣненіе лишь на такихъ водныхъ путяхъ, которые обладаютъ постоянными теченіями въ опредѣленномъ направленіи, т. е. на рѣкахъ, п пзъ всѣхъ способовъ передвиженія грузовъ представляется наибвыгоднѣйшимъ, ибо движущая сила въ немъ даровая и обладаетъ притомъ необходимымъ постоянствомъ величины и направленія.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда направленіе желаемого перемѣщенія грузовъ противоположно направленію теченія или когда водяной путь не имѣетъ теченія, представляется необходимымъ прибѣгать къ другимъ способамъ перемѣщенія грузовъ, а именно:

посредствомъ давленія вѣтра, посредствомъ отталкиванія въ желаемомъ направленіи, посредствомъ *тяги* и наконецъ на самодвижущихся паровыхъ судахъ.

Перемѣщеніе грузовъ посредствомъ *давленія вѣтра* заключается въ томъ, что къ судну, вмѣщающему грузъ, извѣстнымъ образомъ прикрѣпляются приемники давленія вѣтра — *паруса*, и подъ давленіемъ вѣтра судно перемѣщается въ сторону дѣйствія вѣтра въ направленіи съ нимъ совпадающемъ или близкомъ къ его направленію.

Само собою разумѣется, что способъ этотъ, по существу весьма выгодный, можетъ быть примѣнимъ вообще лишь на достаточно широкихъ и свободныхъ водныхъ пространствахъ, т. е. преимущественно на озерахъ и въ тѣхъ лишь случаяхъ, когда имѣется вѣтеръ попутный движенію грузовъ, и притомъ достаточной силы.

Перемѣщеніе грузовъ посредствомъ *отталкиванія* заключается въ томъ, что рабочіе, находящіеся на суднѣ, вмѣщающемъ грузъ, отталкиваютъ его въ опредѣленномъ направленіи или дѣйствуя уда-

рами *веселъ*, или упираясь *шестами* въ дно водянаго пути. Эти оба приѣма отталкиванія требуютъ затраты весьма большой рабочей силы, сравнительно съ величиною перемѣщаемаго груза, и могутъ быть съ удобствомъ примѣняемы: первый—для перемѣщенія лишь легкихъ малыхъ судовъ; второй—для медленнаго перемѣщенія груженыхъ судовъ, не особенно большого размѣра, на малыхъ разстояніяхъ и притомъ на водяныхъ путяхъ малой глубины.

Перемѣщеніе грузовъ *тягою* заключается въ томъ, что суда, вмѣщающія грузы, тянутся въ опредѣленномъ направленіи или силою идущихъ по берегу водянаго пути людей и животныхъ, или силою установленныхъ на нихъ или впереди ихъ машинъ, или же силою идущихъ впереди ихъ судовъ, приводимыхъ въ движеніе машинами.

Способъ перемѣщенія грузовъ *тягою* имѣетъ наибольшее распространеніе на внутреннихъ водяныхъ путяхъ и часто примѣняется даже къ перемѣщенію грузовъ внизъ по теченію въ видахъ ускоренія ихъ движенія.

Перемѣщеніе грузовъ на судахъ, самостоятельно двигающихся подъ дѣйствіемъ силы пара, можетъ быть разсматриваемо какъ особый, измѣненный видъ *паровой тяги* грузовъ, имѣющій въ нѣкоторыхъ случаяхъ спеціальныя преимущества.

И такъ мы видимъ, что изъ поименованныхъ способовъ перемѣщенія грузовъ наибольшее экономическое значеніе на внутреннихъ водяныхъ путяхъ могутъ имѣть *сплавъ* и *тяга*, и потому мы войдемъ въ нѣкоторыя подробности относительно этихъ способовъ, дабы выяснять тѣ существенныя ихъ требованія, которымъ должны удовлетворять внутренніе водяные пути.

## § 2. Сплавъ.

Самый элементарный видъ сплава есть, такъ называемый, *сплавъ розсыпью*, т. е. сплавъ грузовъ отдѣльными штукамп безъ всякой связи. Такимъ образомъ могутъ быть перемѣщаемы внизъ по теченію, очевидно, лишь грузы *плавающіе въ водѣ*, т. е. имѣющіе удѣльный вѣсъ меньше единицы, и притомъ мало или вовсе нестрадающіе отъ подмочки и ударовъ, какъ то: нѣкоторые стропильные лѣсные матеріалы и дрова.

Этот вид сплава, въ особенности для мелкихъ матерьяловъ, какъ напр. дрова, примѣнимъ на потокахъ самыхъ незначительныхъ размѣровъ въ ширину и глубину и при самыхъ разнообразныхъ скоростяхъ теченія, требуетъ довольно простыхъ приспособленій для отпуска, направленія въ пути и приѣма сплавляемыхъ грузовъ; но въ то же время представляетъ значительныя неудобства: во 1-хъ тѣмъ, что стѣсняетъ и иногда дѣлаетъ совершенно невозможнымъ всякое другое, одновременное съ нимъ, перемѣщеніе грузовъ по тому же пути; во 2-хъ тѣмъ, что сплавляемые такимъ образомъ лѣсные матерьялы и дрова иногда слишкомъ сильно пропитываются водою и теряютъ въ своихъ качествахъ.

Поэтому сплавъ розсыпью, вообще, практикуется на незначительныхъ протяженія и тогда только, когда другіе способы перемѣщенія грузовъ не примѣняются или за невозможностью, или за отсутствіемъ въ нихъ потребности.

Для сплава розсыпью требуются слѣдующія приспособленія:

1) Пруды или затоны для предварительнаго сбора или скопленія матерьяловъ, предназначаемыхъ для сплава.

*Пруды эти или затоны* устраиваются въ верховьяхъ, притокахъ или рукавахъ сплаваго пути посредствомъ загражденія ихъ плотинами самой простой конструкціи съ отверстиями для выпуска воды и скопленныхъ за ними матерьяловъ.

Устройство этихъ плотинъ не заслуживаетъ спеціальнаго изученія и сдѣлается совершенно понятнымъ при описаніи устройства водоподъемныхъ плотинъ, о которыхъ мы будемъ говорить внослѣдствіи.

2) Приспособленія для направленія грузовъ въ пути.

Приспособленія эти обыкновенно заключаются въ такъ называемыхъ *запонахъ* или *бонахъ*, т. е. плавучихъ цѣпяхъ изъ бревень или деревянныхъ брусевъ, располагаемыхъ въ соответственныхъ мѣстахъ сплаваго пути такимъ образомъ, чтобы плывущіе матерьялы не уклонялись въ сторону отъ главнаго теченія и не останавливались или не попадали въ боковые рукава.

Каждое звено запони (черт. 16) состоитъ изъ 2-хъ или 4-хъ бревень или брусевъ (длиною отъ 3 до 4 саж.), связанныхъ между собою шпонками (черт. 16) и скобами или болтами (черт. 17); звенья запони соединяются между собою посредствомъ желѣзныхъ колецъ и канатовъ или желѣзныхъ цѣпей или наконецъ посредствомъ

особыхъ желѣзныхъ проушинъ съ цѣпями (черт. 18). Концы запони привязываются къ сваямъ, забитымъ у береговъ или въ руслѣ; промежуточные же звенья ея опираются въ забитыя въ соответственномъ направленіи сваи (черт. 16).

и 3) *Лосильныя* приспособленія въ концѣ сплавнаго участка, при помощи конхъ сплавленный матеріалъ останавливается и иногда направляется въ пріемные боковые бассейны.

Приспособленія этого рода заключаются въ такъ называемыхъ рѣшетчатыхъ ловильныхъ запрудахъ, устраиваемыхъ поперекъ сплавнаго пути.

Ловильная запруда состоитъ (черт. 19) изъ ряда свай, забитыхъ въ русло сплавнаго пути, связанныхъ сверху схватками. Къ этимъ схваткамъ и сваямъ прислоняются деревянные рѣшетки на столько частей, чтобы сквозь нихъ не могъ проходить сплаваемый матеріалъ. Иногда рѣшетки замѣняются кольями, забиваемыми въ русло и опирающимися верхними концами въ схватки свай.

Иногда вмѣсто рѣшетчатыхъ запрудъ, по линіи свай, занитыхъ поперекъ сплавнаго русла, устанавливаются запони.

Останавливаемые такими способами сплавные матеріалы или выбираются рабочими прямо на берегъ, или предварительно направляются или въ боковые пріемные бассейны.

Первымъ усовершенствованіемъ въ сплавѣ представляется сплавъ лѣсныхъ матеріаловъ въ связанныхъ массахъ, а именно: сплавъ дровъ въ такъ называемыхъ *обрубкахъ* или *огородахъ* и сплавъ строеваго лѣса въ *плотахъ*.

*Обрубы* или *огороды* представляютъ собою ряжевые ящики длиною до 5, шириною до 4 саж., изъ бревенъ толщиной около 5 вершковъ, высотой въ 5 вѣнцовъ, съ легкими днищами изъ жердей. Такие обрубы вмѣщаютъ около 8 куб. саж. дровъ.

*Плоты* обыкновенно вяжутся изъ бревенъ слѣдующимъ образомъ. Плавающая бревна разной длины стоняются въ рядъ и связываются между собою посредствомъ положенныхъ сверху жердей, какъ бы въ платформу, ширина коей равняется ширинѣ свободного хода пути, а длина простирается до 15 саж. (черт. 20) и болѣе. Связующія жерди кладутся поперекъ и иногда по діагоналямъ, и прикрѣпляются къ бревнамъ посредствомъ *вицъ*, т. е. скрученныхъ пвовыхъ, орѣхо-

выхъ, а иногда и еловыхъ прутьевъ; при этомъ бревна связываются вицами съ жердями или попарно какъ показано на чер. 20 и 21—а или каждое въ отдельности какъ показано на чер. 21—б.

На связанный такимъ образомъ однорядный плотъ иногда накладывается еще нѣсколько рядовъ бревенъ въ перевязку, т. е. поперекъ и вдоль, и плоты по числу рядовъ бревенъ бываютъ однорядные, двухъ, трехъ, четырехрядные и болѣе.

Иногда бревенчатые плоты нагружаются еще сверху досками, мелкими лѣсными матерьялами и вообще небольшими слоями таклхъ продуктовъ, которые не боятся сырости.

Иногда плоты связываются и изъ толстыхъ досокъ; въ такомъ случаѣ доски располагаются пакетами (въ 5—6 досокъ по высотѣ) вдоль плота, причемъ пакеты ихъ связываются между собою поперечными схватками изъ жердей, положенныхъ сверху и снизу и стянутыхъ вицами или веревками.

Для сплава, какъ обрубъ съ древами, такъ и плоты изъ строеваго лѣса сдѣлаются вдоль канатамъ по нѣсколько штукъ вмѣстѣ въ такъ называемыя *гонки*.

Длина гонокъ достигаетъ нерѣдко 50—60 сажень и вообще сообразуется съ шириною и крутизною поворотовъ пмѣющагося *хода* въ рѣкѣ; тѣмъ новороты круче и тѣмъ ширина *хода* меньше, тѣмъ короче дѣлаются *гонки*; въ очень же крутыхъ поворотахъ гонки расчлѣняются, и пропускъ обрубовъ и плотовъ производится по одиночкѣ.

Обрубъ, плоты и составленные изъ нихъ гонки направляются въ путь и останавливаются, гдѣ потребуется, находящимися на нихъ рабочими.

Для остановки гонокъ употребляются: а) при слабыхъ скоростяхъ теченія, небольшихъ глубинахъ и небольшихъ размѣрахъ гонокъ такъ называемые *сошла*, т. е. толстые (около 4 вершковъ) колья съ заостренными и иногда окованными желѣзомъ (черт. 22) концамъ; сошла опускаются на дно рѣки съ верховаго (задняго) конца гонки чрезъ прикрѣпленные къ этому концу петли изъ канатовъ, или чрезъ оставленный въ немъ для сего промежутокъ между бревнами, и, врываясь въ дно рѣки, останавливаютъ движеніе гонки; б) при болѣе значительныхъ скоростяхъ теченія, глубинахъ и размѣрахъ гонокъ—обыкновенные судовые якоря вѣсомъ до 3 пудовъ; якорь, прикрѣ-

пленный посредством длиннаго каната къ верховому концу гонки, будучи брошенъ на дно рѣки, своими лапами врѣзывается въ грунтъ или захватываетъ за выступы dna (въ случаѣ скалпетаго грунта) и останавливаетъ движеніе гонки (черт. 23).

Для направленія гонокъ въ путь, т. е. для отклоненія движенія ихъ въ ту или другую сторону употребляются: а) шесты (черт. 24) или багры (черт. 25), коими рабочіе упираются въ дно рѣки и отталкиваютъ гонки въ желаемомъ направленіи; б) *пѣтеси*, т. е. большія весла, укрѣпляемые по одному или по два на каждомъ концѣ гонки, ударами конхъ рабочіе отводятъ низовой или верховой конецъ въ желаемую сторону (черт. 26) и в) *рысковые* якоря. Рысковые якоря употребляются при крутыхъ новоротахъ и большихъ скоростяхъ теченія. Дѣйствіе рысковымъ якоремъ заключается въ слѣдующемъ. Предъ требуемымъ поворотомъ нетяжелый якорь завозится впередъ и бросается въ соответственномъ мѣстѣ на дно рѣки или на берегъ, идущій же отъ него канатъ удерживается, натягивается и постепенно укорачивается до извѣстнаго предѣла находящимся на плоту рабочими, причемъ плотъ, войдя въ поворотъ подъ вліяніемъ теченія, описываетъ около якоря какъ около центра нѣкоторую дугу, т. е. какъ говорятъ *вырыскивается*.

Для сплава гонокъ требуются уже нѣкоторыя опредѣленные качества водянаго пути, а именно: 1) глубина воды по *ходу* — для однорядныхъ плотовъ безъ нагрузки — не менѣе 0,25 саж., для *обрубозъ* же не менѣе 0,30 саж., и 2) достаточная ширина и не очень крутые повороты ходовой полосы.

Последнимъ усовершенствованіемъ въ сплавѣ представляется сплавъ грузовъ въ судахъ.

Въ судахъ могутъ быть перемѣщаемы внизъ по теченію всякаго рода грузы. Суда, употребляемая для сплава, могутъ имѣть совершенно такую же конструкцію, какъ и суда, употребляемая для перемѣщенія грузовъ *тягю*, и лишь при особыхъ обстоятельствахъ нѣсколько отличаются отъ нихъ.

Особенности конструкціи и условія движенія судовъ сплавныхъ лучше всего могутъ быть выяснены при сравнительномъ описаніи ихъ съ судами, употребляемыми для тяги грузовъ; а потому мы рассмотримъ конструкцію и условія движенія судовъ вообще и за сямъ выяснимъ тѣ особенности, которыя соответствуютъ двумъ видамъ ихъ перемѣщенія — *сплаву* и *тягю*.

### § 3. Суда и условія ихъ движенія.

#### *Очертанія судна.*

Суда вообще представляютъ собою вмѣстителища для грузовъ, состояща изъ взаимно связанныхъ поперечныхъ и продольныхъ реберъ и прикрѣпленной къ нимъ обшивки.

Наружная форма и общее расположеніе частей каждаго судна опредѣляются очертаніями его въ состояніи покоя и нормальнаго равновѣсія, въ трехъ слѣдующихъ главныхъ плоскостяхъ проекцій:

а) Въ плоскости *діаметральной*; т. е. вертикальной плоскости, проходящей чрезъ среднюю продольную ось судна. Очертанія судна въ этой плоскости называются *боковымъ чертежемъ*.

б) Въ плоскости *грузовой ватерлинии*, т. е. въ горизонтальной плоскости, проходящей чрезъ ту линію наружной поверхности судна, до коей судно погружается въ стоячей водѣ, находясь подъ полнымъ грузомъ. Очертанія судна въ этой плоскости называются *планомъ*.

и в) Въ плоскости *мидельшпангоута*, т. е. въ вертикальной плоскости, проходящей чрезъ наибольшее поперечное сѣченіе судна. Очертанія судна въ этой плоскости называются очертаніями *корпуса*.

Отъ пересѣченія внутренней поверхности наружной обшивки судна плоскостями параллельными плоскостямъ проекцій получаютъ слѣдующія кривыя, опредѣляющія очертанія скелета судна (см. чер. 27):

1. *Ватерлинии*—отъ пересѣченія плоскостями параллельными плоскости плана.

2. *Линіи шпангоутовъ*—отъ пересѣченія плоскостями параллельными плоскости мидельшпангоута:

и 3. *Батоксы*—отъ пересѣченія плоскостями параллельными діаметральной плоскости.

Кромѣ сего для повѣрки правильности сопряженій въ очертаніяхъ скелета судна служатъ кривыя называемыя *рыбинами*, получаемыя отъ пересѣченій внутренней поверхности наружной обшивки судна плоскостями перпендикулярными къ плоскости мидельшпангоута и наклонными къ діаметральной плоскости.

Чертежи, опредѣляющіе въ означенныхъ проекціяхъ очертанія скелета судна и общее расположеніе частей его, называются *теоретическими чертежами* въ отличіе отъ чертежей *практическихъ*, коими опредѣляются детали устройства судна.

Главные свойства судовъ правильного очертанія суть слѣдующія:

1. Диаметральная плоскость дѣлитъ судно на двѣ равныя совершенно симметричныя части.

2. Плоскость мидельшпангоута дѣлитъ судно на двѣ части приблизительно равныя по длинѣ и по *водоизмѣщенію* т. е. проходитъ приблизительно чрезъ среднюю длины судна (длины продольной оси грузовой ватерлиніи) и чрезъ центръ водоизмѣщенія, т. е. центръ тяжести объема вытѣсняемой судномъ воды.

Площади поперечныхъ сѣченій подводнаго корпуса судна, т. е. площади шпангоутовъ его, обыкновенно убываютъ въ извѣстныхъ пропорціяхъ отъ плоскости мидельшпангоута къ обоимъ концамъ судна: но случается, что на нѣкоторой средней части длины своей судно имѣетъ равныя площади шпангоутовъ наибольшей величины, тогда за плоскость мидельшпангоута принимается плоскость шпангоута, проходящая чрезъ среднюю длины участка равно-великихъ площадей шпангоутовъ наибольшей мѣры.

Если (черт. 29) длина судна между концевыми *перпендикулярами*, т. е. между вертикалями, проведенными на чертежѣ въ диаметральной плоскости чрезъ концы оси наружной грузовой ватерлиніи, т. е. ватерлиніи по наружной поверхности обшивки, или, что то же, длина оси наружной грузовой ватерлиніи есть  $L$ ; то плоскость мидельшпангоута отъ *кормового* перпендикуляра обыкновенно отстоитъ на  $0,45L$  до  $0,5L$ ; а центръ водоизмѣщенія отъ того же перпендикуляра обыкновенно отстоитъ на  $0,485L$  до  $0,515L$ .

Если судно имѣетъ равномерную осадку по всей длинѣ, то прямая касательная къ наружной продольной линіи дна судна (въ срединѣ днаши его) параллельна плоскости плана, т. е. горизонтальна; если же судно имѣетъ неравномерную осадку по длинѣ, т. е. сидитъ въ водѣ носомъ или кормою сравнительно больше, то прямая, касательная къ продольной наружной линіи дна его, наклонна внизъ въ сторону большей осадки (носа или кормы) и тогда говорятъ, что судно имѣетъ *дифферентъ* на носъ или корму, смотря потому, чѣмъ оно сидитъ больше, носомъ или кормою. Расположеніе мидельшпангоута, болѣе близкое къ кормовому, чѣмъ къ носовому перпендикуляру, указываетъ на то, что кормовая часть корпуса судна имѣетъ болѣе широкія, болѣе полныя очертанія, а носовая—менѣе полныя очертанія и большее заостреніе. При этомъ положеніе центра водоизмѣщенія судна въ плоскостяхъ шпангоутовъ, отстоящихъ отъ кормового перпендикуляра въ разстояніяхъ отъ  $0,5L$  до  $0,515L$ , очевидно, возможно лишь въ томъ случаѣ, когда нагруженное судно имѣетъ большую осадку въ носовой части т. е. *дифферентъ* на носъ; положеніе же центра водоизмѣщенія судна въ плоскостяхъ шпангоутовъ, отстоящихъ отъ кормового перпендикуляра на разстояніи мѣнѣе  $0,5L$ , очевидно, возможно при дифферентѣ на носъ, при дифферентѣ на корму и при равномерной осадкѣ: надъ осадку судна въ предѣлахъ сихъ положеній центра водоизмѣщенія зависить отъ принятаго положенія мидельшпангоута и принятой относительной полноты очертаній корпуса судна въ носовой и кормовой частяхъ.

3. Линіи шпангоутовъ и грузовой ватерлиніи представляютъ собою или вертикальныя прямыя или касательныя къ симъ прямымъ

дуги круговъ большаго радіуса, описанныя изъ центровъ, взятыхъ на линіи пересѣченія плоскостей плана п шпангоутовъ.

4. *Ватерлиніи, линіи шпангоушовъ, батоксы и рыбины* представляютъ собою вообще правильныя, плавныя, соответственно согласныя между собою кривыя. Хотя невыгоднѣйшія очертанія этихъ кривыхъ еще неизвѣстны, тѣмъ не менѣе основныя пропорціи судна, отъ коихъ эти очертанія зависятъ, опредѣляются сообразно съ ниже-слѣдующими требуемыми отъ судовъ качествами: *подъемною силою, устойчивостью, легкостью на ходу, поворотливостью и крепкостью.*

### *Подъемная сила судна.*

Подъемная сила судна, т. е. способность его при данной глубинѣ погруженія въ воду, или, какъ говорятъ, при данной *осадкѣ*, вмѣщать и поддерживать на плаву то или другое вѣсовое количество груза, очевидно, зависитъ отъ вѣса вытѣсняемой судномъ воды.

Если мы назовемъ черезъ  $P$  вѣсъ вмѣщаемыхъ судномъ грузовъ, т. е. подъемную его силу, черезъ  $p$  собственный вѣсъ судна, чрезъ  $W$  объемъ воды имъ вытѣсняемый, или, что то же, водонамѣщеніе или полный объемъ корпуса судна до грузовой ватерлиніи, и чрезъ  $\delta$  вѣсъ кубической единицы воды, то будемъ имѣть.

$$P + p = W \cdot \delta.$$

Откуда

$$P = W \cdot \delta - p.$$

Если объемъ воды, вытѣсняемый судномъ безъ груза есть  $W_0$ ; то, очевидно,  $p = W_0 \cdot \delta$  и слѣдовательно

$$P = W \delta - p = (W - W_0) \delta = W_1 \delta,$$

гдѣ  $W_1$  есть ни что иное, какъ объемъ части корпуса судна отъ линіи осадки его безъ груза, называемой *ватерлиніею порожняго судна*, до грузовой ватерлиніи.

Изъ приведенныхъ двухъ выраженій подъемной силы судна видимъ, что опредѣленіе этой силы сводится или къ опредѣленію полного водонамѣщенія судна до грузовой ватерлиніи и исчисленію всего собственнаго вѣса судна, или къ опредѣленію лишь водоизмѣщенія

судна въ предѣлахъ между ватерлиніями: *порожняго судна и грузоваго*.

Опредѣленіе полного водоизмѣщенія судна обыкновенно ведется слѣдующимъ образомъ. Составивъ въ проекціяхъ теоретическій чертежъ судна, наносятъ по шпангоутамъ толщину обшивки судна. Полную осадку судна, т. е. высоту его отъ наружной грани дна до грузовой ватерлиніи —  $H$ , дѣлятъ на четное число  $n$  равныхъ частей и черезъ точки дѣленія проводятъ горизонтальныя сѣкущія плоскости (параллельныя грузовой ватерлиніи); строятъ линіи сѣченій этихъ плоскостей съ наружной обшивкой или ватерлиніи наружной обшивки, и вычисляютъ площади ихъ по формулѣ Симпсона

$$\omega = \frac{x}{3m} \left[ y + y_m + 2 \left( y_2 + y_4 + \dots + y_{m-2} \right) + \right. \\ \left. + 4 \left( y_1 + y_3 + \dots + y_{m-1} \right) \right]$$

гдѣ  $x$ —длина какой либо площади ватерлиніи по линіи сѣченія ея съ діаметральною плоскостью;  $y_0, y_1$  и т. д. ширины площади этой ватерлиніи по линіямъ параллельнымъ плоскости мидельшпангоута;  $m$ —четное число частей, на которое дѣлится исчисляемая площадь по длинѣ. Затѣмъ полный объемъ водоизмѣщенія опредѣляется также по формулѣ Симпсона

$$W = \frac{H}{3n} \left[ \omega_0 + \omega_n + 2 \left( \omega_2 + \omega_4 + \dots + \omega_{n-2} \right) + \right. \\ \left. + 4 \left( \omega_1 + \omega_3 + \dots + \omega_{n-1} \right) \right]$$

гдѣ  $H$ —полная осадка судна;  $n$ —четное число частей, на которое она раздѣлена и  $\omega_0, \omega, \dots$  площади ватерлиній. Такимъ же путемъ, очевидно, могутъ быть вычислены водоизмѣщенія судна  $W', W'', W'''$  и т. д., соответствующія разнымъ осадкамъ судна  $h', h'', h'''$  и проч. до  $H$ . Взявъ прямоугольныя координаты (черт. 28) и откладывая по оси  $Y Y$  въ какомъ либо масштабѣ принятыя величины осадокъ судна  $h', h''$  и т. д. до  $H$ , а по оси  $X X$  въ какомъ либо линейномъ масштабѣ соответствующія имъ величины  $W' \delta, W'' \delta$  и т. д., по пересѣченіямъ координатъ можно построить кривую, выражающую

измѣненіе осадокъ судна въ зависимости отъ его нагрузки; кривая эта называется *кривою грузоваго размѣра* судна.

Если на сдѣланномъ такимъ образомъ чертежѣ грузового размѣра судна, ось ординатъ будетъ перенесена параллельно въ сторону положительныхъ абсциссъ на выраженную въ принятомъ линейномъ масштабѣ величину собственного вѣса судна  $p$ , то абсциссы кривой отъ новаго центра координатъ  $O'$  будутъ выражать величины *грузовъ поднимаемыхъ судномъ* при разныхъ осадкахъ, и абсцисса  $O'a$  выразитъ подъемную силу судна  $P = W_1 \delta$ , при осадкѣ его  $H$ .

Если (черт. 29) наибольшая ширина судна по мделю (въ плоскости мдельшнангоута) есть  $l$ , наибольшая длина его по диаметральной плоскости  $L$  и наибольшая осадка его —  $H$ , то объемъ параллелепипеда,  $= l L H$ , есть наибольшее возможное *водопзмѣщеніе* судна, или, другими словами наибольшій *предѣлъ* его водопзмѣщенія. Поэтому полное водопзмѣщеніе каждаго судна можетъ быть выражено такъ:

$$W = \varphi (l L H),$$

гдѣ  $\varphi$  есть нѣкоторый числовой коэффициентъ всегда меньшій единицы, называемый коэффициентомъ *полноты* подводнаго очертанія судна.

Чѣмъ подводныя очертанія судна полнѣе, т. е. чѣмъ ближе онѣ къ параллелепипеду  $l L H$ ; тѣмъ коэффициентъ  $\varphi$  больше, т. е. ближе къ 1.

Пользуясь такимъ выраженіемъ водопзмѣщенія судна, подъемную его силу можно выразитъ такъ:

$$P = \varphi l L H - p.$$

Изъ этого выраженія видно, что подъемная сила судна тѣмъ больше:

- 1) чѣмъ собственный вѣсъ судна ( $p$ ) меньше,
- 2) чѣмъ *полноте очертанія* подводной части судна, т. е. чѣмъ ближе подводная его часть подходитъ къ параллелепипеду,
- и 3) чѣмъ больше ширина судна ( $l$ ), его длина ( $L$ ) и осадка ( $H$ ).

Наименьшій возможный предѣлъ вѣса судна опредѣляется въ зависимости отъ качествъ матеріаловъ, входящихъ въ составъ судна, и прочихъ условій его конструкціи, соответствующихъ требованіямъ достаточной крѣпкости и долговѣчности при данныхъ условіяхъ его нагрузки и движенія.

Наибольшій возможный предѣлъ полноты очертаній подводной части судна опредѣляется, какъ мы увидимъ ниже, въ зависимости отъ требованій остойчивости и легкости судна на ходу.

Наивыгоднѣйшія соотношенія величинъ  $l$ ,  $L$  и  $H$  опредѣляются, какъ мы увидимъ ниже, въ зависимости отъ требованій остойчивости, поворотливости, легкости на ходу и крѣпкости судна.

Предѣлы же каждой изъ сихъ величинъ въ отдѣльности опредѣляются данными условіями водяного пути, а именно: осадка судна  $H$  не должна быть болѣе наименьшей глубины водяного пути, какъ въ ходовыхъ частяхъ, такъ и въ мѣстахъ необходимыхъ стоянокъ судна; ширна судна  $l$  и длнна его  $L$  не должны превосходить тѣхъ предѣловъ, при коихъ еще возможно свободное плаваніе судна по данной ходовой полосѣ водяного пути и, въ особенности, въ поворотахъ ея.

### Остойчивость.

*Остойчивостью* судна называется способность его въ состояніи плаванія приходить въ положеніе равновѣсія относительно осей продольной и поперечной.

Плавающее судно находится въ равновѣсіи:

а) относительно продольной оси—когда центръ его водоизмѣщенія и центръ всей его тяжести (собственнаго нѣса и груза) находятся въ одной вертикальной продольной плоскости, а именно *діаметральной*,

в) относительно поперечной оси — когда центръ его тяжести и центръ водоизмѣщенія находятся въ одной вертикальной поперечной плоскости сѣченія, т. е. въ одной какой либо плоскости шпангоута или какъ чаще всего бываетъ, въ плоскости мидельшпангоута.

Чтобы выразить условія и мѣру остойчивости какого либо судна предположимъ, что, плавая и находясь въ покоѣ, судно имѣетъ оба центра (тяжести и водоизмѣщенія) на одной вертикали, а именно на линіи пересѣченія діаметральной плоскости съ плоскостью мидельшпангоута. Возьмемъ сѣченіе этого судна по мидельшпангоуту (черт. 30) и предположимъ сначала, что изъ двухъ центровъ (тяжести и водоизмѣщенія), находящихся на одной вертикали сего сѣченія —  $x$ , центръ *тяжести* расположенъ ниже центра водоизмѣщенія.

Въ такомъ случаѣ судно будетъ обладать всегда *устойчивымъ равновѣсіемъ*, будетъ вполне и безусловно *остойчиво*, потому что, будучи выведено изъ положенія равновѣсія, всегда будетъ стремиться возвратиться въ положеніе равновѣсія подѣ вліяніемъ силы тяжести.

Если, какъ это большею частью въ дѣйствительности бываетъ, центръ тяжести расположенъ выше центра водоизмѣщенія, то судно обладаетъ условною *остойчивостью* и въ зависимости отъ очертаній своихъ и разстоянія между этими центрами можетъ быть *остойчиво* или *не остойчиво*.

Такъ въ случаѣ (черт. 31), когда при качанія судна центръ тяжести  $u$  и центръ водоизмѣщенія  $v$ , приходятъ въ положенія  $u'$  и  $v'$ , при копѣхъ вертикальная линія, проведенная чрезъ новое положеніе центра водоизмѣщенія  $v'$  пересѣкаетъ ось  $aa'$  въ точкѣ  $m'$ , расположенной ниже центра тяжести  $u'$ , то судно не остойчиво, ибо на него дѣйствуетъ пара силъ (тяжести и водоизмѣщенія)  $Q.mn$  въ сторону качанія и еще болѣе его опрокидываетъ. Если же при качанія судна (черт. 32) центры тяжести и водоизмѣщенія приходятъ въ такія положенія  $u'$  и  $v'$ , что вертикаль, проведенная чрезъ точку  $v'$ , пересѣкаетъ ось  $aa'$  въ точкѣ  $m$ , расположенной выше центра тяжести  $u'$ ; то судно *остойчиво*, ибо на него дѣйствуетъ пара силъ  $Q.mn$  въ сторону обратную качанію и возвращаетъ его въ положеніе равновѣсія.

Точка  $m$  въ обоихъ случаяхъ называется *метацентромъ*, а слѣдовательно можно сказать, что судно *остойчиво* когда *метацентръ* расположенъ выше *центра тяжести* \*).

Остановимся на этомъ послѣднемъ случаѣ и найдемъ выраженіе момента пары  $Q.mn$ , который и представляетъ собою мѣру *остойчивости* судна относительно продольной осн, т. е. мѣру поперечной *остойчивости* судна. Предположимъ, что судно наклонилось и вертикальная ось его  $ca$  отклонилась (черт. 33) отъ первоначальнаго положенія своего въ  $ca'$  на небольшой уголъ  $\alpha$ , тогда будемъ имѣть

$$M = Q.mn = Q.m u' . \sin \alpha,$$

гдѣ  $Q = W \delta$ , т. е. объему водоизмѣщенія умноженному на вѣсъ ку-

\*) Если центръ водоизмѣщенія находится выше центра тяжести, то условіе это всегда исполнено, т. е. метацентръ всегда выше центра тяжести.

Синусной единицы воды. Отложивъ на линіи  $ca$  отъ точки  $a'$  величину  $a'c'' = ac$ , будемъ имѣть:

$$ma' = mo'' - a'c'' = mo'' - ac,$$

или, обозначимъ  $mo''$  черезъ  $e$  и  $ac$  черезъ  $\beta$ ,

$$ma' = e - \beta,$$

а слѣдовательно:

$$M = W \cdot \delta (e - \beta) \cdot \text{Sin } \alpha.$$

Вѣсъ судна съ грузомъ остается безъ измѣненія, а слѣдовательно и водовзмѣщеніе судна при качаніи его не можетъ измѣняться; поэтому подводные объемы судна, соотвѣтствующіе площадямъ миделя  $dad$  и  $f'a'f'$ , равны между собою и объемы поясовъ судна, соотвѣтствующихъ площадямъ  $f'cd'$  и  $fc'd'$ , также должны быть равны между собою, т. е.

$$\text{об. } f'a'f' = \text{об. } dad = W \quad \text{и} \quad \text{об. } d'cf = \text{об. } f'cd' = v.$$

Такъ какъ судно симметрично относительно діаметральной плоскости: то, при правильныхъ очертаніяхъ его и небольшомъ углѣ  $\alpha$ , центры тяжести объемовъ треугольныхъ поясовъ  $d'cf$  и  $f'cd'$  будутъ проектироваться на линію  $ff'$  въ точки  $k$  и  $k'$ , равноудаленныя отъ точки  $c$ . т. е. удовлетворяющія условію  $kc = ck'$ . Проведемъ черезъ  $c''$  вертикальную ось  $xx$ , обозначимъ объемъ судна, соотвѣтствующій площади  $f'a'd'$  черезъ  $v'$  и, предполагая центръ его тяжести въ точкѣ  $g$ , возьмемъ относительно оси  $xx$  моменты объемовъ  $v$ ,  $v'$  и  $W$ , соотвѣтствующаго площади  $faf''$  и соотвѣтствующаго площади  $d'a'd''$ ; уравненія этихъ моментовъ будутъ:

$$\text{об. } faf', mn' = W \cdot mn' = v' \cdot n''g + v \cdot ko$$

$$\text{об. } d'a'd', o = W \cdot o = v' n''g - v \cdot k'o = o,$$

ибо  $c''$  есть центръ тяжести объема  $d'a'd'$ . Вычитая второе уравненіе изъ перваго, будемъ имѣть

$$W \cdot mn' = V(ko - k'o) = v' \cdot kk',$$

$$\text{откуда } mn' = \frac{v'}{W} \cdot kk'; \text{ но}$$

$$mn' = mo'' \cdot \text{Sin } \alpha = e \cdot \text{Sin } \alpha,$$

слѣдовательно

$$e \sin \alpha = \frac{v}{W} \cdot kk'$$

и

$$e = \frac{v \cdot kk'}{W \cdot \sin \alpha}$$

Если мы возьмемъ какой либо элементъ длины судна  $\Delta z$  (чер. 34) и обозначимъ соответствующую ему ширину судна въ плоскости грузовой ватерлинии черезъ  $y$ , то при малой величинѣ угла  $\alpha$  (черт. 33) будемъ имѣть:

$$\Delta v = \frac{1}{2} \cdot \frac{y}{2} \cdot \frac{y \alpha}{2} \cdot \Delta z = \frac{y^3 \alpha}{8} \cdot \Delta z;$$

засимъ для того же элемента

$$kk' = 2 ck = \frac{2}{3} \cdot \frac{y}{2} = \frac{2}{3} y.$$

ибо разстояніе  $ck$  центра тяжести трехугольнаго элемента отъ вершины трехугольника  $c$  будетъ равно  $\frac{2}{3}$  высоты его.

А слѣдовательно:

$$\Delta v \cdot kk' = \frac{y^3 \cdot \alpha \cdot \Delta z}{12},$$

и

$$v \cdot kk' = \sum \frac{y^3 \alpha}{12} \cdot \Delta z = \alpha \sum \frac{y^3 \cdot \Delta z}{12},$$

т. е.  $v \cdot kk'$  равно моменту инерціи площади грузовой ватерлинии относительно продольной оси, умноженному на числовую величину дуги колебанія, или, какъ говорятъ, угла крена судна  $\alpha$ ; обозначивъ этотъ моментъ инерціи черезъ  $J$  и предполагая, какъ выше сказано,  $\alpha$  небольшимъ, такъ что  $\alpha$  можно принять  $= \sin \alpha$ , получимъ:

$$e = \frac{v \cdot kk'}{W \cdot \sin \alpha} = \frac{\alpha J}{W \cdot \sin \alpha} = \frac{J}{W}$$

и

$$M = W \cdot \delta (e - \beta) \cdot \sin \alpha = W \delta \left( \frac{J}{W} - \beta \right) \sin \alpha = \delta (J - \beta W) \cdot \sin \alpha.$$

Переходя къ параллелепипеду предѣльнаго водоизмѣщенія, т. е. обозначая  $W$  черезъ  $\varphi LlH$ , мы можемъ также принять

$$J = \varphi' \cdot \frac{Ll^3}{12},$$

гдѣ  $\varphi'$  будетъ выражать коэффициентъ момента инерціи въ зависимости отъ полноты очертаній грузовой ватерлиніи: чѣмъ болѣе очертаніе этой линіи подходитъ къ прямоугольнику  $Ll$ , тѣмъ  $\varphi$  больше и ближе къ 1.

Поэтому можемъ написать

$$M = \delta \left( \varphi' \cdot \frac{Ll^3}{12} - \beta \cdot \varphi \cdot LlH \right) \text{Sin} \alpha = \delta Ll \left( \frac{\varphi' l^2}{12} - \beta \cdot \varphi H \right) \text{Sin} \alpha.$$

Изъ этого уравненія мы увидимъ, какія общія соотношенія размѣровъ и очертаній судна необходимы для его *остойчивости*, а также что мѣра *остойчивости* судна, т. е. моментъ пары, приводящей судно въ равновѣсіе (возстановляющей пары) растетъ съ увеличеніемъ специфическаго вѣса ( $\delta$ ) воды, въ которой судно плаваетъ, и съ увеличеніемъ угла крена ( $\alpha$ ) судна.

Это послѣднее обстоятельство указываетъ на то, что судно *остойчивое*, все таки, можетъ отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ легко и сильно наклоняться, быть *валкимъ*, и что отъ всякаго судна кромѣ *остойчивости* для удобнаго плаванія еще необходимо требовать: во 1-хъ, чтобы судно, находясь въ равновѣсіи, представляло возможно большее сопротивленіе дѣйствию наклоняющихъ его силъ: эта способность судна называется *устойчивостью* и бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ менѣе возвышается центръ тяжести судна надъ центромъ его водоизмѣщенія, т. е. чѣмъ меньше  $\beta$ ; во 2-хъ, чтобы судно, будучи выведено изъ положенія равновѣсія, обладало способностью возвращаться къ положенію равновѣсія при опредѣленныхъ малыхъ углахъ крена, т. е. чтобы силы, приводящія судно въ поперечное качаніе, могли наклонять его не болѣе какъ на данную величину угла  $\alpha$ . Требуемая степень *остойчивости* судна въ данной водѣ въ этомъ послѣднемъ отношеніи можетъ быть выражена нѣкоторою величиною:

$$C = \frac{M}{\delta \cdot \text{Sin} \alpha}$$

гдѣ  $M$ —моментъ вѣшнихъ силъ, дѣйствующихъ на судно, равный моменту пары, возстановляющей равновѣсіе судна.

$\delta$ —вѣсъ кубической единицы воды,

$\alpha$ —данный предѣльный уголъ крана.

Уголъ  $\alpha$  обыкновенно отъ  $2^\circ$  до  $15^\circ$ .

А слѣдовательно, зависимость пропорцій судна отъ требуемой степени его остойчивости будетъ выражаться уравненіемъ

$$Ll \left( \frac{\varphi'^2}{12} - \beta \cdot \varphi \cdot H \right) = \frac{M}{\delta \cdot \text{Sin } \alpha} = C.$$

Отсюда мы видимъ, что поперечная остойчивость судна тѣмъ больше:

1) тѣмъ больше длина и ширина судна и тѣмъ полнѣе очертанія грузовой ватерлиніи

и 2) тѣмъ меньше возвышеніе центра тяжести надъ центромъ водоизмѣщенія судна, тѣмъ меньше осадка судна и тѣмъ менѣе полны подводныя очертанія его.

Если центръ тяжести судна находится ниже центра водоизмѣщенія, то  $\beta$  имѣетъ отрицательную величину, и элементы 2-го пункта получаютъ обратное значеніе, т. е. съ увеличеніемъ ихъ, остойчивость судна увеличивается.

Вслѣдствіе сего въ отношеніи поперечной остойчивости наивыгоднѣйшее поперечное очертаніе судна будетъ: для случая, когда центръ тяжести его находится выше центра водоизмѣщенія, — показанное на черт. 35, и для случая, когда центръ тяжести ниже центра водоизмѣщенія, — показанное на черт. 36.

Если мы моментъ возстановляющей пары или мѣру остойчивости судна ( $M$ ) раздѣлимъ на произведеніе ( $W \cdot \delta \cdot \text{Sin } \alpha \cdot H$ ), то получимъ мѣру остойчивости на единицу полного вѣса судна и на единицу его осадки или, такъ сказать, *коэффициентъ поперечной остойчивости* данного судна въ данныхъ условіяхъ вѣшнихъ силъ, а именно:

$$B = \frac{M}{W \cdot \delta \cdot \text{Sin } \alpha \cdot H} = \frac{\delta (J - \beta W) \cdot \text{Sin } \alpha}{W \cdot \delta \cdot \text{Sin } \alpha \cdot H} = \left( \frac{J}{WH} - \frac{\beta}{H} \right).$$

или

$$B = \frac{\delta \cdot Ll \left( \frac{\varphi'^2}{12} - \beta \varphi H \right) \text{Sin } \alpha}{\delta \cdot \varphi L H \cdot \text{Sin } \alpha \cdot H} = \frac{\varphi'^2}{12 \varphi H^2} - \frac{\beta}{H}.$$

Для двух судов, находящихся въ одинаковыхъ условіяхъ относительно вѣшнихъ силъ и при одинаковомъ углѣ крена равно остойчивыхъ, —будемъ имѣть:

$$\frac{\varphi}{12 \varphi} \frac{l^2}{H^2} = \frac{\beta_0}{H_0} = \frac{\varphi_1}{12 \varphi_1} \frac{l_1^2}{H_1^2} = \frac{\beta_1}{H_1}.$$

Если же суда эти кромѣ того имѣютъ одинаковую полноту образования и находятся въ одинаковыхъ условіяхъ относительно возвышенія центра тяжести надъ центромъ водоизмѣненія, т. е. если

$$\frac{\varphi_0'}{\varphi_0} = \frac{\varphi_1'}{\varphi_1} \quad \text{и} \quad \frac{\beta_0}{H_0} = \frac{\beta_1}{H_1},$$

то условія равной ихъ остойчивости въ одинаковыхъ условіяхъ выразятся уравненіемъ

$$\frac{l_0^2}{H_0^2} = \frac{l_1^2}{H_1^2} \quad \text{или} \quad \frac{l_0}{H_0} = \frac{l_1}{H_1}.$$

*Продольная остойчивость судна*, т. е. остойчивость его относительно поперечной оси симметріи путемъ такихъ же послѣдствій, примѣненныхъ (вмѣсто плоскости мидельшпангоута) къ плоскости діаметральной, выражается уравненіемъ совершенно аналогичнымъ съ уравненіемъ поперечной остойчивости, а именно:

$$L \cdot l \left( \frac{\varphi'' L^2}{12} - \beta \varphi H \right) = C'.$$

Уравненіе это отличается отъ уравненія поперечной остойчивости лишь тѣмъ, что въ него входитъ моментъ инерціи площади грузовой ватерліній относительно оси поперечной, а не продольной, соответственно чему  $\varphi'' L^2$  замѣняетъ собою величину  $\varphi' l^2$ .

Такъ какъ всѣ суда вообще имѣютъ длину ( $L$ ) больше ширины ( $l$ ), то очевидно судно остойчивое поперечно будетъ всегда еще болѣе остойчиво продольно. Коэффициентъ продольной остойчивости судна по предъидущему будетъ:

$$B' = \frac{\varphi'' L^2}{12 \varphi H^2} - \frac{\beta}{H}.$$

Выведенныя нами условія остойчивости судна, находящагося на плаву въ неподвижной водѣ и не имѣющаго поступательныхъ дви-

женій, называются *статическими* условіями остойчивости, или условіями *статической остойчивости* судна.

Условія остойчивости судна въ состояніи движенія и въ особенноти въ движущейся и волнующейся водѣ такъ сложны, что не могутъ быть выражены точно во всей совокупности, и мы въ предѣлахъ нашего курса остановимся лишь на тѣхъ частяхъ сихъ условій, которыя имѣють практическое значеніе въ примѣненіи къ судамъ внутреннѣхъ водяныхъ сообщеній.

Первое начало остойчивости судна въ состояніи движенія есть начало такъ называемой *динамической остойчивости*, за мѣрло которой принимается та работа внѣшнихъ силъ, которая необходима для боковаго наклоненія судна на нѣкоторый уголъ крена  $\alpha$ . Работа эта, по принципу Модслея, въ зависмости отъ элементовъ судна выражается работою вертикальнаго перемѣщенія всего груза судна на величину того измѣненія вертикальнаго разстоянія между центромъ тяжести и водоизмѣненія его, которое происходитъ при поперечномъ наклоненіи судна на уголъ крена  $\alpha$ .

Если мы предположимъ, что разстояніе между центрами тяжести и водоизмѣненія судна въ положеніи равновѣсія его (черт. 37)  $uc = \beta$  и что при кренѣ судна на уголъ  $\alpha$  центръ тяжести его перешелъ въ  $u'$ , а центръ водоизмѣненія находится въ  $c'$ , то вертикальное разстояніе между центрами водоизмѣненія и тяжести въ положеніи крена будетъ  $Ss'$ , и измѣненіе разстоянія между сими центрами, происшедшее отъ крена, будетъ

$$= Ss' - \beta.$$

А слѣдовательно, если объемъ полнаго водоизмѣненія судна есть  $W$ , и всѣхъ кубической единицы воды  $\delta$ , то мѣра динамической остойчивости будетъ

$$D = W\delta (Ss' - \beta).$$

Отложивъ на линіи  $oj$  отъ точки  $u'$  величину  $u's'' = \beta$  и проведя чрезъ  $s''$  горизонтальную линію  $xx$  получимъ

$$.Ss = .Ss' + .S's'' = \beta \cos \alpha + S's',$$

и слѣдовательно

$$D = W\delta (Ss' - \beta) = W\delta [S's' - \beta (1 - \cos \alpha)].$$

Чтобы опредѣлить величину  $S'g'$ , обозначимъ разстояніе линіи  $xx'$  отъ поверхности воды чрезъ  $h$ , объемъ пояса  $aoc$  и равный ему объемъ пояса  $a'od'$  чрезъ  $v$ , объемъ  $aodf$  чрезъ  $v'$ ; предположимъ, что центры тяжести объемовъ  $v$  находятся въ точкахъ  $g$  и  $g'$ , а объема  $v'$  въ точкѣ  $g''$ , и возьмемъ моменты всѣхъ объемовъ относительно линіи  $xx'$ ; тогда получимъ:

$$M. об.  $afda' = W \cdot S'g' = v' \cdot g''n' - v (h - k'g')$ ,$$

$$\text{и } M. об.  $cafd = v' \cdot g''n' - v (h + kg) = 0$ ,$$

вычитая второе уравненіе изъ перваго, будемъ имѣть:

$$W \cdot S'g' = v (kg + k'g').$$

Но треугольнички  $aoc$  и  $a'od'$  по предъидущему равны и  $kg = k'g'$ , а слѣдовательно

$$S'g' = \frac{v \cdot 2 k'g'}{W}.$$

За сямъ

$$k'g' = \frac{ok' \cdot \alpha}{2},$$

ибо  $g'$  (центръ тяжести) находится на линіи, дѣлящей уголъ  $\alpha$  пополамъ, и

$$S'g' = \frac{v \cdot 2 k'g'}{W} = \frac{v \cdot ok' \cdot \alpha}{W},$$

но по предъидущему

$$ok' = \frac{1}{2} kk', \text{ слѣд. } v \cdot ok' = \frac{v \cdot kk'}{2}.$$

Затѣмъ такъ какъ по предъидущему

$$v \cdot kk' = \alpha \cdot \Sigma \frac{v^3 \Delta z}{12} = J\alpha,$$

гдѣ  $J$  моментъ инерціи грузовой ватерлинии относительно продольной оси, то

$$S'g' = \frac{v \cdot ok' \cdot \alpha}{W} = \frac{v \cdot kk' \cdot \alpha}{2W} = \frac{J\alpha^2}{2W}.$$

Поэтому

$$D = W \delta \left[ S' d' - \beta (1 - \text{Cos } \alpha) \right] = \delta \left[ J \frac{\alpha^2}{2} - W \beta (1 - \text{Cos } \alpha) \right].$$

Но

$$1 - \text{Cos } \alpha = 2 \text{Sin}^2 \frac{\alpha}{2} = 2 \left( \frac{\alpha}{2} \right)^2 = \frac{\alpha^2}{2},$$

потому что по малости допускаемого угла  $\alpha$  можно принять

$$\text{Sin } \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2};$$

а следовательно:

$$D = \delta \left[ J \frac{\alpha^2}{2} - W \beta \frac{\alpha^2}{2} \right] = \delta \left[ J - W \beta \right] \frac{\alpha^2}{2}.$$

Сравнивая этот выводъ съ выведеннымъ нами уравненіемъ статической остойчивости

$$M = \delta (J - W \beta) \text{Sin } \alpha,$$

мы видимъ, что въ предѣлахъ небольшихъ угловъ  $\alpha$ :

$$D = \frac{M}{\text{Sin } \alpha} \cdot \frac{\alpha^2}{2} = M \cdot \frac{\alpha}{2}.$$

Итакъ мы видимъ, что въ предѣлахъ небольшихъ угловъ допускаемого крена для провѣрки остойчивости судна, движущагося въ тихой водѣ, достаточно изслѣдовать его статическую остойчивость, чѣмъ на практикѣ обыкновенно и ограничиваются.

Остойчивое судно, находящееся въ тихой водѣ и получившее подъ влияніемъ вѣтренныхъ силъ нѣкоторое боковое наклоненіе (до угла крена  $\alpha$ ), будучи предоставлено самому себѣ, подъ влияніемъ возстановляющаго момента не только придетъ въ положеніе равновѣсія, но перейдетъ его въ обратную сторону до нѣкотораго противоположнаго угла крена. Если мы предположимъ, что судно не встрѣчаетъ отъ воды препятствій своему качанію, то углы крена его въ ту и другую сторону будутъ равны, и оно будетъ качаться около нѣкоторой оси вращенія, въ родѣ маятника, безконечное время. Изслѣдованія оси вращенія поперечно качающихся судовъ показали, что ось эта въ дѣйствительности не имѣетъ постояннаго положенія, а

непрерывно перемѣщается, т. е., другими словами, что поперечныя качанія судовъ въ дѣйствительности происходятъ около мгновенныхъ осей; но что для приближительнаго математическаго изслѣдованія качанія судовъ за ось вращенія можно принимать продольную ось, проходящую чрезъ метацентръ судна.

Итакъ поперечно качающееся въ тихой водѣ судно можно уудобить физическому маятнику, имѣющему центръ вращенія въ *метацентрѣ*, в центръ качанія въ центрѣ тяжести судна; а потому время одного размаха судна (отъ одного угла крена до противоположнаго), или, какъ говорятъ, *періодъ качанія*, не принимая въ расчетъ сопротивленій воды, можетъ быть опредѣлено по формулѣ маятника, слѣдующимъ образомъ:

$$T = \pi \sqrt{\left(\frac{R^2}{m} + m\right) \frac{1}{g}}$$

гдѣ  $T$ —время размаха или періодъ,

$\pi$ —отношеніе окружности къ діаметру = 3,14,

$R$ —радіусъ инерціи судна относительно продольной оси, проходящей чрезъ центръ тяжести,

$m$ —возвышеніе метацентра надъ центромъ тяжести,

$g$ —ускореніе силы тяжести.

Такъ какъ  $m$  всегда весьма не велико, то дробью  $\frac{m}{g}$  можно пренебречь и принять:

$$T = \pi \sqrt{\frac{R^2}{gm}}$$

Но  $m = e - \beta$ ,

гдѣ по предъидущему:

$e = \frac{J}{W}$  есть возвышеніе метацентра надъ центромъ водозмѣщенія,

$\beta$ —возвышеніе центра тяжести надъ центромъ водозмѣщенія,—  
а слѣдовательно:

$$T = \pi \sqrt{\frac{R^2}{mg}} = \sqrt{\frac{R^2}{g \left(\frac{J}{W} - \beta\right)}}$$

Но такъ какъ, по принятымъ обозначеніямъ,

$$W = \varphi \cdot L \cdot l \cdot H,$$

$$\text{и } J = \varphi' \frac{L l^3}{12},$$

и, сверхъ того, можно принять

$$K^2 = \frac{1}{12} [H^2 + l^2] \varphi_1,$$

гдѣ  $\varphi'$  — коэффициентъ квадрата радіуса инерціи по предѣльному параллелепипеду судна, зависящій отъ полноты очертаній судна: то слѣдовательно будемъ имѣть:

$$\begin{aligned} T &= \pi \sqrt{\frac{\frac{1}{12} (H^2 + l^2) \varphi_1}{g \left( \frac{\varphi' l^2}{12 \varphi H} - \beta \right)}} = \\ &= \pi \sqrt{\frac{H (H^2 + l^2) \varphi_1 \varphi}{g (\varphi' l^2 - 12 \varphi H \beta)}} \end{aligned}$$

Если мы возьмемъ судно данной поперечной остойчивости въ извѣстныхъ условіяхъ вѣсннхъ силъ, для коего

$$\frac{l}{H} = n_1, \text{ и } \frac{\beta}{H} = n_2, \text{ то будемъ имѣть:}$$

$$T = \pi \sqrt{\frac{H (1 + n_1^2) \varphi_1 \varphi}{g (\varphi' n_1^2 - 12 \varphi n_2)}}.$$

откуда видимъ, что  $T$  тѣмъ больше, чѣмъ больше осадка судна.

Опытъ показалъ, что сопротивленіе воды качанію судовъ уменьшаетъ дугу размаха, но не измѣняетъ періода качанія, т. е. времени сего размаха; поэтому формулу періода оказалось возможнымъ повѣрить наблюденіямъ, и наблюденія эти дали результаты, весьма близкіе къ получаемымъ изъ формулы.

Чѣмъ при одной и той же величинѣ размаха (удвоеннаго угла крена) періодъ (время размаха) больше, тѣмъ спокойнѣе плаваетъ судно.

Наибольшее вліяніе сопротивленія воды на уменьшеніе величины

размаха судна достигается устройством *киля*, т. е. выступающего пзъ очертаній дна судна *продольнаго ребра въ діаметральной плоскости*, а потому суда, предназначаемыя къ плаванію на водахъ, подверженныхъ волненію (на моряхъ и озерахъ), устриваются (въ видахъ уменьшенія боковой качки) съ килями (черт. 38).

Болѣе или менѣе спокойное плаваніе судна во время волненія зависитъ отъ соотношенія періода волнь (т. е. времени, въ которое гребень волны проходитъ пространство, равное длинѣ волны) къ періоду качаній судна. Такъ какъ ни точное исчисленіе внѣшнихъ силъ, могущихъ накрывать судно въ плаваніи, ни точное исчисленіе періодовъ волнь—невозможны; то размѣры и пропорціи проектируемыхъ судовъ относительно остойчивости должны быть новѣряемы по размѣрамъ существующихъ хорошихъ судовъ, плавающихъ въ тѣхъ же условіяхъ, которыя предполагаются для проектируемыхъ судовъ.

Поэтому:

1) размѣры и пропорціи судовъ, предназначаемыхъ къ плаванію по рѣкамъ и каналамъ, относительно остойчивости можно опредѣлить по коэффициентамъ статической поперечной и продольной остойчивости существующихъ хорошихъ рѣчныхъ судовъ пзъ уравненій:

$$\frac{\varphi' l^2}{12\varphi H^2} - \frac{\beta}{H} = B \text{ и } \frac{\varphi'' L^2}{12H^2} - \frac{\beta}{H} = B',$$

гдѣ  $B$  и  $B'$  суть величины коэффициентовъ, исчисленные по размѣрамъ хорошихъ существующихъ судовъ того же назначенія.

2) Размѣры и пропорціи судовъ, предназначаемыхъ къ плаванію по озерамъ, подверженнымъ сильному волненію, — относительно остойчивости можно опредѣлять тѣмъ же путемъ по коэффициентамъ статической остойчивости существующихъ хорошихъ судовъ того же рода и, кромѣ того, слѣдуетъ повѣрять по уравненію періода качанія:

$$T = \pi \sqrt{\frac{H(1+n_1^2)\varphi'\varphi}{g(\varphi'n_1^2 - 12\varphi n_2)}} ,$$

задаваясь величиною  $T$ , исчисленною по размѣрамъ и пропорціямъ хорошихъ существующихъ судовъ того же рода.

### *Легкость судовъ на ходу.*

Сопротивленія, преодолеваемые движущимися по водѣ судами, могутъ быть раздѣлены на три категоріи:

1) сопротивленій, представляемыхъ водою въ качествѣ относительно неподвижной несвободно проницаемой среды,

2) сопротивленій, происходящихъ отъ движеній воды, препятствующихъ движенію судна, т. е. отъ противныхъ движенію судна теченій и волненій,

и наконецъ 3) сопротивленій отъ воздуха, какъ относительно неподвижнаго, такъ и движущагося, т. е. отъ вѣтровъ.

Сопротивленія отъ воздуха неподвижнаго ничтожны, сопротивленія же отъ вѣтровъ имѣютъ значенія случайныя, исключительныя.

Сопротивленія отъ волненій и теченій воды вообще представляютъ собою явленія сложныя, не поддающіяся точному анализу и притомъ случайныя.

Изъ этого рода сопротивленій лишь сопротивленіе отъ теченія, прямо противоположнаго направленію движенія (курсу) судна, имѣетъ значеніе явленія опредѣленнаго и постоянно встрѣчающагося въ рѣкахъ; но это сопротивленіе весьма просто можетъ быть упрощено сопротивленію относительно неподвижной водяной среды, если мы въ движеніи судна будемъ разсматривать не абсолютную скорость, а относительную. Поэтому качества судна, соответствующія понятію „легкости его на ходу“, т. е. способности его двигаться въ водѣ съ опредѣленною скоростью при наименьшей затратѣ движущей силы, опредѣляются лишь въ зависмости отъ сопротивленій несвободно проницаемой водяной среды, причемъ среда эта предполагается *относительно* неподвижною, т. е. въ основаніе изслѣдованій принимается не абсолютная, а относительная (къ водѣ) скорость движенія судна. Такъ, напримѣръ, если абсолютная скорость движенія судна есть  $v_0$ , а абсолютная скорость теченія воды въ ту или другую сторону сравнительно съ курсомъ судна есть  $\pm v_1$ , то въ основаніе изслѣдованій принимается относительная скорость судна  $v = v_0 - (\pm v_1)$ . При скорости теченія, направленной въ сторону движенія судна,  $v_1$  имѣетъ положительную величину (знакъ +) и  $v = v_0 - v_1$ . При скорости теченія, направленной въ сторону противоположную

движенію судна,  $v_1$  имѣетъ отрицательную величину (знакъ —) и  $v = v_0 + v_1$ .

Наконецъ при отсутствіи течения  $v_1 = 0$ , и  $v = v_0$ .

Экспериментальныя и математическія изслѣдованія сопротивленій водяной *относительно неподвижной* среды движенію судовъ производились до сихъ поръ преимущественно въ примѣненіи къ судамъ морскимъ.

Первыя изслѣдованія этого рода произведены въ прошломъ столѣтіи разными учеными и, главнымъ образомъ, по порученію французской Академіи наукъ.

Въ основаніе первыхъ изслѣдованій было принято, что относительно неподвижная вода сопротивляется движенію въ ней судна сплюю инерціи своей массы, влѣдствіе чего сопротивленіе, оказываемое водою судну, движущемуся съ нѣкоторою относительною скоростью  $v$ , можетъ быть выражено слѣдующимъ образомъ:

$$P = \gamma \cdot \delta \cdot \frac{A v^2}{2 g}$$

гдѣ  $P$ —сила сопротивленія въ пѣсовыхъ единицахъ,

$\delta$ —вѣсъ куб. ед. воды,

$A$ —площадь подводной части мидельшпангоута (площадь миделя).

$v$ —относительная скорость,

$g$ —ускореніе силы тяжести,

и  $\gamma$ —коэффициентъ, зависящій отъ формы судна.

Примѣняя къ сей формулѣ результаты опытовъ надъ движеніемъ плавающихъ параллелепипедовъ, д'Обюссонъ нашель, что  $\gamma = 1$ , если длина параллелепипеда  $L$  не менѣе  $5\sqrt{A}$ , что при  $L > 5\sqrt{A}$   $\gamma > 1$  и что, при той же величинѣ  $A$ , но съ значительнымъ уменьшеніемъ осадки параллелепипеда,  $\gamma$  значительно увеличивается.

Изъ этихъ выводовъ можно заключить: 1) что сопротивленіе воды движенію плавающего параллелепипеда состоитъ не изъ одного только *противодавленія* или *подпора* воды; 2) что къ сему сопротивленію прибавляется еще сопротивленіе отъ *сдвиганія* частицы воды съ подводной поверхностью параллелепипеда, растущее съ увеличеніемъ площади этой поверхности и 3) что сопротивленіе воды вообще зависитъ отъ соотношеній длины, ширины и осадки плавающего тѣла.

По опытамъ Боссю, д'Аламберта и Кондорсе, примѣненнымъ къ той же формулѣ, оказалось, что съ заостреніемъ передняго и задняго концовъ параллелепипеда симметричными вертикальными плоскостями, величина коэффициента  $\gamma$  уменьшается въ слѣдующихъ пропорціяхъ:

1) отъ заостренія передняго конца (носа) до  
угла  $132^\circ - 84^\circ - 60^\circ - 12^\circ$   
на  $15\% - 46\% - 56\% - 60\%$ .

2) Отъ заостренія задняго конца (кормы) до  
угла  $96^\circ - 48^\circ - 24^\circ$   
на  $11\% - 14\% - 16\%$ ,

и 3) отъ совмѣстнаго заостренія обѣихъ концовъ—въ пропорціи еще большей.

По опытамъ Борда, примѣненнымъ къ той же формулѣ, оказалось, что отъ заостренія и криволинейнаго очертанія передняго конца (носа) параллелепипеда, коэффициентъ  $\gamma$  уменьшается слѣдующимъ образомъ: отъ заостренія симметричными вертикальными плоскостями до угла  $60^\circ$  на  $48\%$ ; при той же степени заостренія, съ ограниченіемъ круговыми, вертикальными, цилиндрическими поверхностями радіуса, равнаго ширинѣ параллелепипеда,—на  $57\%$ ; при той же степени заостренія, но съ ограниченіемъ вертикальною эллиптической цилиндрической поверхностью—на  $61\%$  (см. черт. 39).

Выводы Боссю, д'Аламберта, Кондорсе и Борда приводятъ къ тому заключенію, что сопротивленіе воды движенію параллелепипеда зависитъ въ значительной степени отъ очертаній и формъ его оконечностей (носа и кормы).

Произведенными за симъ многочисленными наблюденіями и изслѣдованіями установлена новая теорія сопротивленій неподвижной воды движенію морскихъ судовъ, называемая теоріей „*струйныхъ сопротивленій*“.

Сущность этой теоріи заключается въ томъ, что движущееся въ стоячей водѣ судно разрѣзаетъ воду, и струи воды, скользя по подводной поверхности судна, представляютъ его движенію троякаго рода сопротивленія: сопротивленіе давленія или *подпора*, сопротивленіе *сильленія* или тренія и сопротивленія вихревыя или *водоверотовъ*.

Наибольшее значеніе въ установленіи этой теоріи имѣютъ мате-

матическія изслѣдованія англійскаго профессора Ренкина и за симъ позднѣйшія экспериментальныя изслѣдованія англійскаго корабельнаго инженера Фруда (опубликованныя въ 1877—1879 годахъ).

Изслѣдованія Фруда были произведены надъ большими моделями морскихъ судовъ и хотя, за смертью экспериментатора, не были закончены, но дали основанія слѣдующимъ важнымъ выводамъ:

1) *Сопротивленіе тренія* на единицу площади подводной поверхности, при скоростяхъ движенія отъ 10 до 22 футъ въ 1 секунду, пропорціонально приблизительно квадрату скорости движенія, не зависить вовсе отъ формы подводной поверхности, но зависить отъ качествъ ея и длины; такъ всякая крашеная желѣзная поверхность, длиною около 50 футъ, при скорости 10 ф. въ 1 секунду, испытываетъ среднее сопротивленіе въ  $\frac{1}{4}$  фунта на 1 кв. футъ; съ увеличеніемъ скорости движенія, сопротивленіе это увеличивается пропорціонально квадратамъ скоростей; съ уменьшеніемъ длины поверхности, сопротивленіе это также увеличивается, но съ увеличеніемъ ея сверхъ 50 футъ—остается почти безъ измѣненія, если же поверхность покрыта наростами, то среднее сопротивленіе на 1 кв. ф. ея удваивается и даже утраивается. *Полное сопротивленіе тренія* судна равняется площади подводной поверхности судна, умноженной на соответственное единичное (на единицу площади) сопротивленіе, и составляетъ, при чистой подводной поверхности и скоростяхъ отъ 10 до 13 футъ въ 1 секунду, около 80—90% суммы всѣхъ сопротивленій; при тѣхъ же условіяхъ и скоростяхъ отъ 13 до 22 ф. въ 1 секунду—около 50—60% суммы всѣхъ сопротивленій, а при нечистой, покрытой наростами поверхности,—вообще значительно еще возрастаетъ.

2) *Сопротивленіе подпора* зависить главнѣйшимъ образомъ отъ пропорцій, формъ и очертаній подводной части судна; величина этого сопротивленія и отношеніе ея къ величинѣ сопротивленія тренія зависить отъ многочисленныхъ условій, изъ коихъ важнѣйшее значеніе имѣетъ соотношеніе скорости движенія судна къ длинѣ носоваго и кормоваго образования (см. черт. 40-а и 40-б); если скорость движенія возрастаетъ за предѣлъ

$$v = 1,03 \sqrt{L_1 + L_2} ,$$

гдѣ  $L_1$  длина носоваго } образованія (причемъ обыкновенно  $L_1 = L_2$ ),  
 $L_2$  длина кормоваго }  
 то сопротивление подпора возрастаетъ непомѣрно;

и 3) *Сопротивленіе водоворотное*, при обыкновенныхъ хорошихъ очертаніяхъ судна, весьма не велико и составляетъ не болѣе 8—10% величины сопротивленія тренія. Неправильное образованіе кормовой части въ значительной мѣрѣ увеличиваетъ сопротивление этого рода.

Для озерныхъ желѣзныхъ судовъ морскаго типа сопротивление воды (относительно неподвижной) опредѣляется приблизительно довольно просто и безъ большаго противорѣчія опытамъ Фруда слѣдующею эмпирическою формулою нѣмецкаго инженера — судостроителя Миддендорфа, составленною по теоріи извѣстнаго англійскаго судостроителя Нейстрема (Nystrom).

Если  $L$  — длина } предѣльнаго параллелепипеда подвод. ч. с.,  
 $l$  — ширина }

$A$  — площадь миделя (подводной части),

$\xi = \frac{W}{AL}$  — коэффициентъ полноты водоизмѣщенія,

$F$  — площадь подводной поверхности судна,

$v$  — скорость движенія (абсолютная въ стоячей и относительная въ текущей водѣ),

то, при измѣреніяхъ въ метрахъ и килограммахъ:

*сопротивленіе подпора*

$$P_1 = \frac{11 \cdot A \cdot l}{\sqrt{l^2 + mL^2}} \cdot v^{2.5},$$

гдѣ  $m$  — числовой коэффициентъ, при измѣненіяхъ  $\xi$  отъ 0,7 до 0,9, имѣющей величины отъ 2,00 до 0,02;

*сопротивленіе тренія*

$$P_2 = 0,17 F \cdot v^3;$$

и, пренебрегая водоворотными сопротивленіями, полное сопротивление

$$P = P_1 + P_2 = \frac{11 \cdot A \cdot l \cdot v^{2.5}}{\sqrt{l^2 + mL^2}} + 0,17 \cdot F \cdot v^3.$$

Для судовъ деревянныхъ \*) сопротивленія тренія почти въ  $1\frac{1}{2}$  раза больше сравнительно съ желѣзными.

Относительно сопротивленій воды движенію рѣчныхъ судовъ, существенно отличающихся отъ судовъ морскихъ *плоскостью* и прочими очертаніями подводной части корпуса, сдѣлано мало наблюденій и изслѣдованій; причемъ, кромѣ того, всё произведенныя изслѣдованія приурочивались къ формулѣ одного подпорнаго сопротивленія.

Поэтому, а также вслѣдствіе крайняго разнообразія и несовершенства формъ рѣчныхъ судовъ, болѣе или менѣе рациональныхъ формулъ для выраженія сопротивленій воды движенію ихъ не существуетъ.

Обыкновенно принимается, что всё сопротивленія воды движенію рѣчныхъ судовъ выражаются формулою:

$$P = \gamma \cdot \delta \cdot \frac{Av^2}{2g},$$

гдѣ всё величины имѣютъ выше объясненныя нами значенія.

Белинградъ (нѣмецкій инженеръ) даетъ для обыкновенныхъ деревянныхъ рѣчныхъ судовъ  $\gamma = 0,4$  до  $0,25$ ; для пароходовъ хорошей конструкціи  $\gamma = 0,15$ .

Въ виду приведенныхъ нами результатовъ изслѣдованій д'Обюиссона, Боссю, д'Аламберга, Кондорсе, Борда и наконецъ Фруда, формула эта и коэффициенты Белинградата представляются весьма негодными. Кромѣ сего изъ результатовъ опытовъ тяги рѣчныхъ судовъ, произведенныхъ въ Россіи въ 1877 году на рѣкахъ Волгѣ и Шекснѣ, между прочимъ можно видѣть, что формула эта невѣрна для скоростей ( $v$ ) менѣе 11 футъ въ секунду, а именно, что сопротивленія движенію рѣчныхъ судовъ (деревянныхъ), при скоростяхъ менѣе 11 футъ, растутъ пропорціонально не вторымъ, а меньшимъ степенямъ  $v$ , и зависятъ отъ площади подводной поверхности судна.

Нѣкоторые изслѣдованія относительно подпорнаго сопротивленія воды движенію судовъ показали, что сопротивленіе это значительно увеличивается при движеніи судна въ узкомъ каналѣ.

Обстоятельство это объясняется тѣмъ, что подпорное сопротивле-

\*) Неграженыхъ, какъ обыкновенно бываетъ.

ніе воды выражается въ дѣйствительности образованіемъ нѣкоторой *подпорной волны* у носа судна, и величина его зависитъ отъ высоты этой волны. Въ широкомъ водномъ пространствѣ подпорная волна разливается и распространяется въ ширину и вълѣдствіе сего достигаетъ меньшей высоты; въ узкомъ же пространствѣ, встрѣчая препятствіе разлиту въ ширину, она увеличивается по высотѣ, и вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается и сопротивленіе движенію судна.

Дюбуа, на основаніи нѣкоторыхъ опытовъ, пришелъ къ заключенію, что чувствительная разница въ подпорномъ сопротивленіи воды судну въ каналѣ сравнительно съ свободнымъ пространствомъ обнаруживается, если площадь живаго сѣченія канала  $\Omega$  меньше, чѣмъ въ 6,46 раза, превосходитъ площадь миделя судна  $A$ , и для выраженія зависимости сего сопротивленія отъ размѣровъ канала въ предѣлахъ отношеній

$$\frac{\Omega}{A} = 2 \quad \text{и} \quad \frac{\Omega}{A} = 6,46$$

предложила слѣдующую формулу:

$$P' = P \cdot \frac{8,46}{\frac{\Omega}{A} - 2},$$

гдѣ  $P'$  — сопротивленіе въ каналѣ и  $P$  — сопротивленіе въ широкомъ пространствѣ.

Беллиградъ на основаніи того соображенія, что въ узкомъ каналѣ относительная скорость движенія судна  $v$  получаетъ какъ-бы нѣкоторое приращеніе отъ уменьшенія площади живаго сѣченія канала на величину площади миделя судна, предложилъ слѣдующую формулу:

$$P' = P \cdot \left( \frac{\Omega}{\Omega - A} \right)^2 = P \left\{ \frac{\frac{\Omega}{A}}{\frac{\Omega}{A} - 1} \right\}^2 = P \left( \frac{n}{n - 1} \right)^2,$$

гдѣ  $n = \frac{\Omega}{A}$ .

Выводъ этой формулы основывается на слѣдующихъ соображеніяхъ. Имѣя судно, движущееся въ стоячей водѣ канала со скоростью  $v$ , для опредѣленія сопротивленія воды мы можемъ предположить, что

судно стоит неподвижно, а въ замѣнъ того движется вода въ каналѣ въ направлеиіи, противномъ движенію судна, со скоростью  $v$ . Если площадь живаго сѣченія канала есть  $\Omega$ , то предполагаемый расходъ воды въ каналѣ передъ судномъ будетъ  $= \Omega \cdot v$  и у миделя судна будетъ тотъ-же самый, но  $= (\Omega - A) v_1$ ; а слѣдовательно скорость движенія воды у миделя судна опредѣлится изъ уравненія:

$$\Omega v = (\Omega - A) v_1,$$

и будетъ:

$$v_1 = \frac{\Omega}{\Omega - A} \cdot v.$$

Поэтому будетъ:

$$P' = P \cdot \frac{v_1^2}{v^2} = \frac{P \left( \frac{\Omega}{\Omega - A} \cdot v \right)^2}{v^2} = P \left( \frac{\Omega}{\Omega - A} \right)^2 = P \left( \frac{n}{n - 1} \right)^2.$$

Формула Беллиграта даетъ результаты довольно близкіе къ истинѣ.

По наблюденіямъ французскихъ инженеровъ, сопротивление движенію нѣсколькихъ одинаковыхъ судовъ, связанныхъ между собою и идущихъ одно за другимъ въ близкомъ разстояніи, выражается формулою:

$$\sum_x P = \frac{P(N + 1)}{2},$$

гдѣ  $\sum_x P$  — полное сопротивление всѣхъ судовъ,  $P$  — сопротивление одного судна,  $N$  — число одинаковыхъ судовъ.

Подводя итоги всему сказанному о сопротивленіи воды движенію судовъ, можно сдѣлать слѣдующія обобщенія.

Полное сопротивление стоячей воды движенію судовъ морскаго типа, при скоростяхъ отъ 10 до 22 футъ въ 1 секунду, удовлетворяющихъ тому условію, что

$$v \leq 1,03 \sqrt{L_1 + L_2},$$

можетъ быть выражено вообще въ функціи отъ одного сопротивленія тренія, а слѣдовательно отъ площади подводной поверхности и скорости, слѣдующимъ образомъ:

$$P = K, F, v^2,$$

гдѣ  $K$  — нѣкоторый числовой коэффициентъ, постоянный для судовъ известнаго типа,  $F$  — площадь подводной поверхности, и  $v$  — скорость. За снѣгъ, если мы обозначимъ черезъ  $p$  подводный периметръ мидельшпангоута, чрезъ  $A$  площадь подводной части мидельшпангоута, то будемъ имѣть:

$$\frac{A}{p} = r = \text{подводному радиусу мидельшпангоута, и}$$

$$p = \frac{A}{r}.$$

При этомъ площадь подводной поверхности можетъ быть выражена такъ:

$$F = \xi' p \cdot L = \xi' \cdot \frac{A}{r} \cdot L,$$

гдѣ  $\xi'$  — для судовъ известнаго типа будетъ нѣкоторый числовой коэффициентъ, а слѣдовательно можно написать:

$$P = K \cdot F \cdot v^2 = K \xi' \cdot \frac{A \cdot L}{r} \cdot v^2.$$

Но мы имѣемъ

$$W = \xi \cdot A \cdot L.$$

Поэтому сопротивленіе на единицу объема водоизмѣщенія, которымъ собственно и измѣряется *легкость судна на ходу*, будетъ

$$\frac{P}{W} = \frac{K \cdot \xi' \cdot A \cdot L \cdot v^2}{r \xi \cdot A \cdot L} = \frac{K \xi'}{\xi} \cdot \frac{v^2}{r}.$$

Уравненіе это показываетъ, что, при данныхъ величинахъ коэффициентовъ  $\xi'$ ,  $\xi$  и  $K$  судно тѣмъ *легче на ходу*, чѣмъ больше подводный радиусъ его мидельшпангоута.

Сопротивленіе воды движенію рѣчныхъ судовъ, какъ выше выяснено, въ дѣйствительности пропорціонально не квадрату, а нѣкоторой другой функціи относительной скорости движенія и состоитъ не изъ одного только сопротивленія подпора, а, по всей вѣроятности, изъ тѣхъ же элементовъ сопротивленія, которые выяснены для судовъ морского типа; поэтому, по аналогіи съ судами морскими, сопро-

тивленіе воды движенію рѣчныхъ судовъ въ широкихъ пространствахъ можно выразить слѣдующимъ образомъ:

*сопротивленіе тренія*

$$P_1'' = F \left( \alpha v + \beta v^2 \right) = \frac{\xi' LA}{r} \left( \alpha v + \beta v^2 \right),$$

*сопротивленіе подпора*

$$P_2'' = A \left( \alpha_1 v + \beta_1 v^2 \right),$$

и полное сопротивленіе, пренебрегая сопротивленіемъ водоворотовъ,

$$\begin{aligned} P'' &= P_1'' + P_2'' = \frac{\xi' LA}{r} \left( \alpha v + \beta v^2 \right) + A \left( \alpha_1 v + \beta_1 v^2 \right) = \\ &= \left[ \left( \frac{\xi' L \alpha}{r} + \alpha_1 \right) v + \left( \frac{\xi' L \beta}{r} + \beta_1 \right) v^2 \right] A, \end{aligned}$$

гдѣ  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\beta$  и  $\beta_1$  суть числовые коэффициенты сопротивленій, подлежащіе опредѣленію изъ опытовъ, а прочія величины имѣють вышеобъясненныя значенія.

Сопротивленіе на единицу объема водоизмѣщенія рѣчнаго судна, выражающее мѣру легкости судна на ходу, поэтому будетъ:

$$\frac{P''}{W} = \frac{P''}{\xi AL} = \left[ \left( \frac{\xi' \alpha}{r} + \frac{\alpha'}{L} \right) v + \left( \frac{\xi' \beta}{r} + \frac{\beta_1}{L} \right) v^2 \right] \frac{1}{\xi}.$$

Изъ этого уравненія мы видимъ, что судно рѣчное, при данныхъ коэффициентахъ полноты его очертаній  $\xi'$  и  $\xi$ , будетъ по всей вѣроятности тѣмъ легче на ходу, чѣмъ подводный радиусъ мидельшпангоута и длина его больше.

### *Поворотливость судна на ходу.*

Каждое судно въ своемъ движеніи по ходовой полосѣ водянаго пути должно направляться къ цѣли соотвѣтственно условіямъ глубины, ширины, теченій, волненій и поворотовъ ходовой полосы. Для управленія движеніемъ судна служитъ обыкновенно *руль*.

Руль располагается за кормою судна и состоитъ изъ плоской деревянной плъ металлической лопасти, называемой *перомъ*, прикрѣпленной къ вертикальному стержню—тонкому валу, называемому

*рудерисомъ*, имѣющему ось въ діаметральной плоскости судна и вращающемуся въ прикрѣпленныхъ къ судну *подшипникахъ* или *ингбахъ* (черт. 41 а и 41 б). Руль приводится во вращательное движеніе или непосредственно рычагомъ, прикрѣпленнымъ къ верхнему концу рудериса и называемымъ *румпедемъ*, или посредствомъ дѣйствующихъ на тотъ-же рычагъ особыхъ приспособленій: цѣпнаго привода и горизонтальнаго вала, называемаго *штурваломъ* (черт. 41 в).

Когда судно движется по направленію своей діаметральной плоскости и перо руля находится въ этой плоскости, то руль не оказываетъ никакого направляющаго дѣйствія на судно; если же, при томъ-же движеніи судна, перо составляетъ нѣкоторый уголъ  $\alpha$  съ діаметральной его плоскостью и удерживается въ этомъ положеніи, то струи воды, скользя съ обѣихъ сторонъ и снизу судна, будутъ производить давленіе на руль. Въ силу этого давленія судно будетъ поворачиваться около вертикальной оси, проходящей чрезъ центръ его инерціи. Можно съ достаточною приближительностью принять, что вращеніе это будетъ происходить около вертикальной оси, проходящей чрезъ центръ тяжести (а слѣдовательно и центръ водоизмѣщенія) судна.

Постараемся опредѣлить соотношеніе между площадью и угломъ положенія *пера* руля съ одной стороны и размѣрами и угломъ поворота двигающагося въ стоячей водѣ судна съ другой. Пусть будетъ:

$v$  — скорость движенія судна, а слѣдовательно, и пера руля въ направленіи діаметральной плоскости,

$F$  — подверженная давленію воды площадь пера руля; тогда нормальное давленіе на руль выразится такъ:

$$P = \frac{k \cdot \delta \cdot F \cdot v^2 \cdot \text{Sin}^2 \alpha}{2g}$$

Это соотвѣтствуетъ тому предположенію, что скорости всѣхъ дающихъ на перо струй параллельны между собою и составляютъ съ плоскостью руля уголъ  $\alpha$  (черт. 42). Хотя это предположеніе въ точности не соотвѣтствуетъ дѣйствительности; но, за неизвѣстностью дѣйствительныхъ направленій струй, въ видахъ упрощенія нашихъ приближительныхъ выводовъ, оно можетъ быть принято.

Такъ какъ перо руля удерживается не безусловно неподвижно относительно судна; то можно предположить, что давленіе воды на

перо руля передается судну въ цапфахъ, несущихъ рудершисъ. Полагая при этомъ, что центръ тяжести (онъ же центръ вращенія судна) находится на срединѣ длины судна, получимъ моментъ вращенія (черт. 42).

$$M = Pb \cos \alpha = \frac{k \delta F v^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{1}{2} L \cos \alpha}{2g}.$$

Подъ вліяніемъ этого момента судно начнетъ вращаться сначала весьма медленно, затѣмъ, получая ускореніе вслѣдствіе постояннаго дѣйствія вращающей силы, по прошествіи времени  $t$  отъ того момента, когда руль былъ положенъ на уголъ  $\alpha$ , достигнетъ нѣкоторой угловой скорости  $\gamma$ , и ясно, что чѣмъ меньше это время  $t$ , тѣмъ судно скорѣе слушается руля. Мы можемъ опредѣлить  $t$  на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Вращенію сопротивляются инерція судна и вода; сопротивленіе воды очевидно зависитъ отъ линейныхъ скоростей элементовъ подводной поверхности судна  $v_s = x\gamma$  (черт. 42), и, при небольшой угловой скорости  $\gamma$ , не можетъ быть значительнымъ. Пренебрегая этимъ сопротивленіемъ, мы можемъ написать:

$$Mt = \gamma J,$$

гдѣ  $J$ —моментъ инерціи массы судна относительно оси вращенія. Предполагая, что вся масса судна сосредоточивается въ подводномъ его корпусѣ, мы можемъ выразить моментъ инерціи массы судна  $J$  въ функціи отъ геометрическаго момента инерціи подводнаго его корпуса относительно той же оси,  $J_1$ , слѣдующимъ образомъ:

$$J = \frac{J_1 \delta}{g}.$$

Но  $J_1$  въ свою очередь выражается въ функціи момента инерціи предѣльнаго параллелепипеда подводнаго корпуса такъ:

$$J_1 = \varphi_{II} \frac{LH}{12} \cdot (l^2 + L^2).$$

А потому:

$$J = \frac{\delta}{g} \varphi_{II} \frac{LH}{12} (l^2 + L^2).$$

Подставляя найденныя значенія  $M$  и  $J$  въ уравненіе

$$Mt = \gamma J,$$

получаемъ:

$$\frac{k\delta Fv^2 \text{Sin}^2 \alpha L \text{Cos} \alpha}{4g} \cdot t = \frac{\gamma \delta \varphi_{II}}{12g} LH (l^2 + L^2),$$

откуда:

$$t = \frac{\gamma \varphi_{II} LH (l^2 + L^2)}{3k \cdot F \text{Sin}^2 \alpha \cdot \text{Cos} \alpha \cdot v^3}.$$

Если положить  $H = mLH$ , гдѣ  $LH$  есть площадь предѣльнаго прямоугольника, соотвѣтствующаго подводной части діаметральной плоскости, и предположить  $l = nL$ , то получимъ:

$$t = \frac{\gamma \varphi_{II} n (1 + n^2) L^2}{3 kmv^2 \text{Sin}^2 \alpha \text{Cos} \alpha}.$$

Эта формула показываетъ, что судно тѣмъ скорѣе слушается руля, чѣмъ длиннѣе его ( $L$ ) меньше, чѣмъ отношеніе ширины его къ длинѣ ( $n$ ) меньше, чѣмъ меньше полнота подводнаго очертанія ( $\varphi_{II}$ ) и чѣмъ больше площадь пера руля сравнительно съ подводною діаметральною площадью судна (чѣмъ больше  $m$ ).

Въ рѣчныхъ грузовыхъ судахъ данна пера въ 3—4 раза больше высоты его, и площадь пера составляетъ около  $\frac{1}{30}$  подводной діаметральной площади судна.

По мѣрѣ возрастанія угловой скорости ( $\gamma$ ) судна, сопротивленіе воды его вращенію очевидно будетъ возрастать и, когда моментъ сопротивленія воды сдѣлается равнымъ моменту силъ вращающихся, угловая скорость сдѣлается постоянной, и каждому перемѣщенію центра тяжести судна въ единицу времени на постоянную величину  $v$  будетъ соотвѣтствовать поворотъ судна на уголь  $\gamma$ . Для вывода зависимости между этой постоянной угловою скоростью  $\gamma$ , постоянною скоростью  $v$  и пропорціями судна и руля, предположимъ, что равнодѣйствующая движущей и сопротивляющихся силъ составляетъ съ осью двигающагося судна постоянный уголь и что сила, перемѣщающая центръ тяжести судна по траекторіи со скоростью  $v$ , (составляющая равнодѣйствующей по касательной) образуетъ съ продольною осью судна нѣкоторый постоянный уголь  $\beta$ . Такое пред-

положеніе возможно, если движущая сила находится на самомъ суднѣ или если направленіе силы тяги судна измѣняется соотвѣтственно съ измѣненіемъ направленія движенія судна. Кромѣ того, предположимъ, что судно приобрѣло угловую скорость  $\gamma$ , повернувшись изъ начальнаго положенія на тотъ же уголъ  $\beta$ .

При этихъ предположеніяхъ центръ тяжести судна будетъ описывать дугу круга около нѣкотораго центра  $D$ , въ чемъ можно убѣдиться изъ нижеслѣдующаго.

По условію, при перемѣщеніи центра тяжести судна изъ  $a$  въ  $a'$  (черт. 43) на величину  $aa' = v$ , судно поворачивается на уголъ  $\gamma$ , т. е.  $\angle a'ca = \gamma$ , в кромѣ того

$$\angle d'a'A' = \angle daA = \beta;$$

слѣд. изъ треугольника  $oac$  имѣемъ:

$$\angle a'oc' = 180^\circ - \angle a'ca - \angle oac = 180^\circ - \gamma - \beta;$$

изъ треугольника  $oc'a'$  имѣемъ:

$$\angle oc'a' = 180^\circ - \angle a'oc' - \angle oa'a' = 180^\circ - (180^\circ - \gamma - \beta) - \beta = \gamma.$$

Проведемъ  $aD' \perp AA'$  и  $a'D'' \perp A'A'$ , получимъ.

$$\angle aDa' = \gamma,$$

а слѣд. дуга  $aa'$  есть дуга такой кривой, касательная къ коей, проведенная въ равноудаленныхъ точкахъ, составляютъ между собою постоянные углы  $\gamma$ .

Кромѣ сего, такъ какъ равнодѣйствующая движущей и сопротивляющихся силъ  $P$ , по предположенію, составляетъ съ осью судна постоянный уголъ  $a'ac$ , а эта послѣдняя составляетъ съ касательной къ траекторіи также постоянный уголъ  $\beta$ ; то уголъ между касательной къ траекторіи и направленіемъ силы  $P$  имѣетъ также постоянную величину  $\epsilon$ ; а слѣд. составляющая равнодѣйствующей движенія— $P$  по нормали будетъ  $= P \sin \epsilon = \frac{Wv^2}{\rho} =$  постоянной величинѣ; по этому радиусъ кривизны траекторіи  $\rho$  будетъ имѣть постоянную величину  $aD = R$ , и траекторія есть дуга круга.

Опыты, произведенные надъ поворотными движеніями паровыхъ судовъ въ стоячей водѣ, показали, что траекторіи ихъ центровъ тя-

жести можно приблизительно принимать за дуги круговъ, а потому всё сдѣланныя нами предположенія возможны.

Въ такомъ случаѣ скорости воды  $v$  будутъ приблизительно составлять съ перомъ руля уголъ  $\mu = \alpha - \beta$  (черт. 44), а слѣдовательно моментъ силы, давящей на руль, относительно центра тяжести судна по предыдущему напишется такъ:

$$M' = \frac{k\delta (m LH) \text{Sin}^2 (\alpha - \beta) \text{Cos} \alpha v^2 L}{4g}$$

Далѣ сопротивление воды вращенію судна на каждый элементъ діаметральной плоскости  $h \cdot dx$ , удаленный отъ центра тяжести на величину  $x$ , (черт. 45) выразится такъ:

$$d\phi = \frac{k'\delta (h dx) \gamma x^2}{2g}$$

такъ что полный моментъ сопротивленія будетъ:

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} x d\phi = \frac{k'\delta \gamma^2}{2g} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} h x^3 dx.$$

Для интегрированія замѣнимъ  $h$  подъ интеграломъ нѣкоторой средней осадкой  $\lambda H$ , гдѣ  $\lambda$  нѣкоторая правильная дробь; тогда получимъ:

$$\frac{k' \delta \gamma^2 \lambda H}{2g} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} x^3 dx = \frac{k' \delta \gamma^2}{64g} \lambda H L^4.$$

Условіе равенства моментовъ:

$$\frac{k\delta m LH \text{Sin}^2 (\alpha - \beta) \text{Cos} \alpha v^2 L}{4g} = \frac{k' \delta \gamma^2}{64g} \gamma H L^4$$

дастъ намъ:

$$\gamma^2 = \frac{16 km}{k' L^2 \lambda} \text{Sin}^2 (\alpha - \beta) \text{Cos} \alpha v^2;$$

и

$$\gamma = \frac{4v \text{Sin} (\alpha - \beta)}{L} \sqrt{\frac{km \text{Cos} \alpha}{k' \lambda}},$$

или приблизительно:

$$\gamma = \frac{4v \operatorname{Sin} \alpha}{L} \sqrt{\frac{km \operatorname{Cos} \alpha}{k' \lambda}}.$$

Отсюда слѣдуетъ, что  $\gamma$  тѣмъ больше, т. е. судно тѣмъ поворотливѣе, чѣмъ меньше его длина ( $L$ ), чѣмъ больше относительная скорость его хода  $v$ , чѣмъ больше площадь пера руля (отношеніе  $m$ ) и чѣмъ меньше величина средней осадки по діаметральной плоскости ( $\lambda$ ); для уменьшенія  $\lambda$ , въ видахъ увеличенія поворотливости судна, выгодно придавать очертаніе по діаметральной плоскости, представленное на черт. 46.

Изъ чертежа 43 мы видимъ, что радіусъ поворота  $R = aD = a'D$  можетъ быть опредѣленъ изъ уравненія

$$R\gamma = v;$$

такъ:

$$R = \frac{v}{\gamma}$$

Кромѣ сего, если мы изъ центра  $D$  опустимъ перпендикуляръ  $Dk$  на продолженіе оси судна  $df$ , то точка  $k$ , находящаяся на этомъ продолженіи оси судна и отстоящая отъ оси вращенія его на нѣкоторую величинѹ  $ak = \eta L$ , будетъ, при круговомъ движеніи центра тяжести судна, описывать также дугу круга около центра  $D$ ; и такъ какъ  $\angle aDk = \beta$ , то мы будемъ имѣть

$$\eta L = R \cdot \operatorname{Sin} \beta,$$

откуда

$$R = \frac{\eta L}{\operatorname{Sin} \beta}.$$

Если-бы мы могли вычислить точно  $\gamma$  и  $\beta$ , соответствующія даннымъ величинамъ  $v$  и раамѣрамъ судна и руля, то могли-бы изъ приведенныхъ уравненій вычислить и величины  $R$  и  $\eta$ ; но опредѣлить величины  $\gamma$  и  $\beta$  вычисленіемъ невозможно, а потому и  $R$  вычислить нельзя. По сдѣланнымъ наблюденіямъ надъ паровыми судами оказывается, что обыкновенно  $R =$  отъ  $2L$  до  $3L$  и  $\eta L =$  отъ  $\frac{1}{4} L$  до  $\frac{1}{2} L$  и болѣе, а слѣд. изъ приведенныхъ выраженій имѣемъ

приблизительно:

$$\frac{v}{\gamma} = 2,5L, \text{ откуда } \gamma = \frac{V}{2,5L},$$

$$\text{и } \frac{\eta L}{\text{Sin } \beta} = 2,5L \text{ или } \frac{\gamma}{\text{Sin } \beta} = 2,5,$$

откуда, при

$$\eta = \frac{1}{2},$$

$$\text{Sin } \beta = \frac{1}{2 \cdot 2,5} = \frac{1}{5}.$$

Изъ всего вышеизложеннаго мы видимъ, какими вообще мѣрами можно увеличить поворотливость судна, но при примѣненіи этихъ мѣръ необходимо имѣть въ виду, что излишняя поворотливость судна такъ-же неудобна, какъ и недостаточная его поворотливость: судно, излишне поворотливое, дурно держитъ свой курсъ, т. е. при всякихъ слабыхъ боковыхъ усиліяхъ легко отклонится отъ даннаго ему направленія движенія.

Поэтому, за неизмѣнимъ ни практическихъ, ни теоретическихъ общихъ точныхъ данныхъ относительно подлежащей хорошей поворотливости судовъ, пропорціи вновь проектируемыхъ судовъ относительно поворотливости необходимо сравнить съ пропорціями испытанныхъ уже хорошихъ судовъ, подходящихъ по размѣрамъ и условіямъ движенія къ проектируемымъ.

### *Крѣпкость судна.*

Судно, безъ поступательнаго движенія плавающее въ тихой водѣ, уже подвержено дѣйствию внѣшнихъ силъ, стремящихся произвести деформаціи въ его корпусѣ. Если же оно движется силою пара или тяги, или идетъ подъ парусами и при движеніи своемъ подвергается еще дѣйствию волненія или теченія воды, то въ корпусѣ его развиваются значительныя дополнительныя напряженія. Для приданія корпусу судна необходимой крѣпкости, т. е. способности переносить дѣйствіе внѣшнихъ силъ безъ искаженія формы, поломокъ и нарушенія прочности связей, всѣ части его должны быть исполнены изъ подлежащихъ матеріаловъ, съ такимъ расположеніемъ ихъ соот-

вѣтственно дѣйствию внѣшнихъ силъ, чтобы необходимая прочность корпуса во всѣхъ частяхъ совмѣщалась съ возможно меньшимъ его вѣсомъ.

Главнѣйшія напряжения корпуса судна могутъ быть классифицируемы слѣдующимъ образомъ:

1) Напряженія отъ продольнаго изгиба корпуса,

2) Напряженія отъ поперечныхъ деформаций его,

3) Напряженія, вызываемыя ходомъ судна,

и 4) Напряженія въ отдѣльныхъ частяхъ корпуса судна независимо отъ прочности и жесткости его какъ цѣлаго.

*Продольный изгибъ* судна имѣетъ слѣдующее происхожденіе: Представимъ себѣ боковой чертежъ судна, (черт. 47(a)) находящагося въ равновѣсіи относительно плоскости  $XX$ , т. е. имѣющаго центр тяжести и центр водоизмѣщенія въ плоскости  $XX$ , и раздѣлимъ судно по длинѣ на нѣсколько равныхъ частей. Обыкновенно бываетъ, что полный вѣсъ каждой такой части судна не равенъ вѣсу вытѣсняемой ею воды, такъ что на каждую часть судна дѣйствуетъ вверхъ или внизъ нѣкоторая сила, равная разности вѣсовъ водоизмѣщенія и тяжести. Между всѣми такими силами  $W_1, W_2, W_3$  и т. д., при равновѣсіи судна, существуютъ соотношенія, удовлетворяющія условіямъ:

$$\Sigma W = 0$$

$$\Sigma m W = \Sigma n W,$$

и корпусъ судна находится въ такихъ же условіяхъ, какъ брусъ на двухъ опорахъ подъ дѣйствіемъ вертикальныхъ силъ, а слѣдовательно подвергается изгибу, моментъ коего относительно плоскости  $XX$  есть:

$$M = \Sigma m W = \Sigma n W.$$

Корпусъ судна въ зависимости отъ соотношеній вѣсовъ и водоизмѣщеній частей его можетъ очевидно находиться и въ другихъ условіяхъ, а именно можетъ представлять собою брусъ, подпертый въ срединѣ и нагруженный на концахъ, или брусъ на нѣсколькихъ опорахъ, нагруженный въ пролетахъ.

Но во всякомъ случаѣ, изгибающіе корпусъ судна моменты будутъ тѣмъ больше, чѣмъ больше разнятся вѣса и водоизмѣщенія его частей, и будутъ увеличиваться съ увеличеніемъ длины его и въ

особенности, когда судно подвергается волненію, вызывающему неравномѣрное погруженіе разныхъ частей его (черт. 48) въ воду, или же когда судно садится на мель.

Кромѣ сего корпусъ судна подверженъ продольному изгибу еще вслѣдствіе того, что равнодѣйствующая продольно-сжимающаго его давленія воды проходитъ не чрезъ центръ тяжести площади сжимаемаго поперечнаго сѣченія тѣла корпуса судна, а въ нѣкоторомъ разстояніи отъ него  $\pm f$  (черт. 47(б)); причѣмъ дополнительный моментъ продольнаго изгиба есть

$$M_1 = \pm Pf.$$

Напряженіямъ вытягиванія и сжатія отъ продольнаго изгиба корпуса судна подвергаются продольныя связи его, наружная обшивка и продольныя настилки, называемыя палубами.

*Поперечныя изгибы* въ корпусѣ судна происходятъ отъ того, что въ каждой половинѣ судна, по обѣ стороны діаметральной плоскости (чер. 49), центръ тяжести и центръ водоизмѣщенія не находятся на одной вертикали, вслѣдствіе чего въ каждой половинѣ корпуса дѣйствуетъ пара силъ  $\frac{Q}{2} \cdot t$ , гдѣ  $Q$  полный вѣсъ судна. Эта пара силъ стремится произвести поперечный изгибъ корпуса судна внутрь. Кромѣ сего боковыя давленія воды на корпусъ судна содѣйствуютъ этому изгибу.

Напряженіямъ отъ поперечныхъ изгибовъ корпуса судна подвергаются ребра шпангоутовъ и поперечныя связи между ними.

*Ходомъ* судна вызываются слѣдующія напряженія въ его корпусѣ. Предположимъ, что тяговая сила  $P$  приложена въ нѣкоторой точкѣ  $A$  (чер. 50) на линіи пересѣченія плоскости шпангоута  $XX$  съ діаметральной плоскостью и дѣйствуетъ въ діаметральной плоскости; обозначимъ сопротивленія движенію передней и задней части судна относительно плоскости  $XX$  чрезъ  $P_1$  и  $P_2$ ; такъ какъ ихъ равнодѣйствующая

$$P_1 + P_2 = P$$

приложена наже точки приложенія силы тяги, то получается пара  $Pt$ , производящая изгибъ корпуса относительно плоскости  $XX$ . Сверхъ того ясно, что передняя часть корпуса у плоскости  $XX$  будетъ еще

сжата усилиемъ  $P_1$ , а задняя у той же плоскости будетъ вытянута усилиемъ  $P_2$ .

Добавочныя напряженія отъ хода судна являются дополнительными къ напряженіямъ отъ разсмотрѣннаго нами продольнаго изгиба.

Въ отдѣльныхъ частяхъ судна проявляются еще напряженія отъ непосредственно дѣйствующихъ на нихъ внѣшнихъ силъ; такъ наружная подводная обшивка судна въ промежуткахъ между ребрами подвергается напряженіямъ отъ непосредственнаго давленія воды, настилка и поперечины палубъ подвергаются напряженіямъ отъ давленій располагаемыхъ на нихъ грузовъ и т. д.

Вообще напряженія всѣхъ частей корпуса судна могутъ быть съ большою или меньшею вѣроятностью опредѣлены по правиламъ строительной механики, и на основаніи этихъ правилъ частямъ корпуса могутъ быть приданы обезпечивающіе ихъ прочность размѣры, соответствующіе даннымъ матерьяламъ и псчисленнымъ напряженіямъ.

Но такъ какъ всѣ внѣшнія силы, дѣйствующія на судно и его части, не могутъ быть опредѣлены теоретически съ достаточною точностью; то при проектированіи судовъ слѣдуетъ руководствоваться не только правилами строительной механики, но и **практическими** данными относительно размѣровъ частей въ существующихъ судахъ, оказавшихся на практикѣ хорошими.

Изъ сказаннаго нами относительно крѣпкости судовъ можно вывести слѣдующія заключенія:

1) Распредѣленіе груза въ суднѣ должно по возможности строго соответствовать водоизмѣщенію каждой части его корпуса. Очевидно, соблюденіе этого правила необходимо какъ при проектированіи судна— въ видахъ достиженія возможно меньшаго вѣса корпуса при достаточной его прочности; такъ и во время службы судна— въ видахъ того, чтобы судно не подвергалось напряженіямъ, болѣе чѣмъ, на которыя оно рассчитано.

2) Продольныя напряженія въ корпусѣ судна вообще уменьшаются съ уменьшеніемъ отношенія длины судна къ его осадкѣ.

и 3) Поперечныя напряженія корпуса судна уменьшаются съ уменьшеніемъ отношенія ширины судна къ его осадкѣ, а также отъ равномернаго распредѣленія груза по ширинѣ судна и въ зависимости отъ выбора болѣе жесткой формы шпангоутовъ.

*Формы, основныя пропорціи и размеры судовъ внутрен-  
нихъ водяныхъ путей.*

Суда, употребляемыя на внутреннихъ водяныхъ путяхъ, бываютъ весьма разнообразны въ зависимости отъ условій ихъ службы, отъ требуемаго срока ихъ службы и наконецъ отъ матерьяла, изъ котораго онѣ построены. Между судами внутреннего плаванія по своимъ существеннымъ особенностямъ различаются двѣ группы:

- 1) суда озерныя
- и 2) суда рѣчныя.

Суда озерныя по нѣкоторымъ различіямъ въ конструкціи подраздѣляются на:

- а) суда самодвижущіяся—пароходы
- и б) суда грузовыя—парусныя и перемѣщаемыя тягою (буксируемыя).

Всѣ вообще озерныя суда по условіямъ своей службы должны противостоятъ случайностямъ волненія и обладать для этого слѣдующими качествами:

- 1) значительною крѣпостью корпуса,
- 2) значительною поворотливостью, ибо во время волненія озерное судно должно выбирать навыгоднѣйшее направленіе относительно гребней волнъ, чтобы не быть опрокинутымъ,
- 3) значительною остойчивостью
- и 4) легкостью на ходу, ибо движеніе озернаго судна во время волненія совершается при особенно трудныхъ условіяхъ.

Но вмѣстѣ съ симъ озерныя суда вообще не стѣснены предѣломъ глубины осадки, за исключеніемъ, разумѣется, тѣхъ изъ нихъ, которыя должны заходить въ рѣки и приставать въ мѣстахъ, не представляющихъ достаточной глубины.

Наивышія требованія относительно перечисленныхъ качествъ озерныхъ судовъ предъявляются къ *озернымъ пароходамъ*, потому что они несутъ самую серьезную службу и по своему устройству дороже грузовыхъ судовъ. Они устраиваются обыкновенно изъ желѣза и имѣютъ очертанія: въ поперечномъ сѣченіи — показанное на чертежѣ 51-а, въ діаметральной плоскости—показанное на чертежѣ 51-б, и въ планѣ — показанное на чертежѣ 51-в; при этомъ киль (см.

ч. 51-а) увеличивает сопротивление ихъ боковымъ качаніямъ; криволинейное образованіе шпангоутовъ уменьшаетъ сопротивление ихъ движенію и увеличиваетъ поперечную ихъ крѣпкость; малая полнота подводнаго очертанія способствуетъ ихъ остойчивости; значительное заостреніе носа въ діаметральной плоскости и планѣ способствуетъ ихъ легкости на ходу и поворотливости. Между длиною  $L$ , шириною  $l$  и осадкой  $H$  въ этихъ судахъ соблюдаются обыкновенно слѣдующія пропорціи:

$$\frac{l}{H} = 2; \quad \frac{L}{l} = 6 \text{ до } 8.$$

Судамъ озернымъ *грузовымъ* придаютъ обыкновенно менѣ совершенныя формы и устраиваютъ ихъ изъ дерева; поперечный видъ ихъ бываетъ или по чер. 52, или по чер. 53, или наконецъ по чер. 54, если онѣ должны приставать въ мелкихъ мѣстахъ; въ планѣ и діаметральной плоскости имъ придаютъ формы, показанныя на чер. 55. Обыкновенно употребляемыя пропорціи озерныхъ грузовыхъ судовъ слѣдующія:

$$\frac{l}{H} = 2; \quad \frac{L}{l} = 4 \text{ до } 5.$$

Что касается вѣса корпуса, то относительно русскихъ озерныхъ грузовыхъ судовъ можно принять, что онъ составляетъ 35—40% полезнаго груза (вмѣщаемаго судномъ).

*Суда рѣчные* по различіямъ въ конструкціи также подраздѣляются на паровыя и грузовыя, причеъ послѣднія распадаются на два существенно различныхъ отдѣла: судовъ тяговыхъ и судовъ сплавныхъ.

Общее требованіе отъ всѣхъ рѣчныхъ судовъ—возможно меньшая осадка при данной подъемной силѣ. Крѣпкость корпуса не имѣетъ въ нихъ того значенія, какъ въ судахъ озерныхъ. Поворотливость важна для пароходовъ и сплавныхъ судовъ; легкость на ходу—для пароходовъ и тяговыхъ судовъ, для сплавныхъ же она не имѣетъ значенія.

Конструкціи рѣчныхъ судовъ въ значительной степени зависятъ отъ продолжительности срока ихъ службы: если на данномъ водномъ пути грузовое движеніе совершается только въ одну сторону или если возвращеніе судовъ въ теченія одной и той же навигаціи по

дальности пути невозможно, то грузовыя суда устраиваются болѣ легкой конструкціи: на одну только навигацію и на одинъ путь. Такая постройка судовъ практикуется у насъ отчасти для Волжско-Невскихъ водныхъ системъ и на нѣкоторыхъ отдѣльныхъ рѣкахъ.

Рѣчные пароходы строятся обыкновенно желѣзные по типу чер. 56 при пропорціяхъ:

$$\frac{l}{H} = 2; \quad \frac{L}{l} = 10 \text{ до } 15;$$

если же водный путь представляетъ крутые повороты, то принимается  $\frac{L}{l} = 6$  до 8, а  $\frac{l}{H}$  соответственно увеличивается.

*Грузовыя суда тяговыя* соответственно предъявляемымъ къ нимъ требованіямъ легкости на ходу имѣютъ формы, показанныя на черт. 57, и пропорція:

$$\frac{l}{H} = 3,3 \text{ до } 4; \quad \frac{L}{l} = 6 \text{ до } 8,5;$$

а при крутыхъ поворотахъ:

$$\frac{l}{H} = 4 \text{ до } 5; \quad \frac{L}{l} = 4 \text{ до } 6.$$

*Сплавныя суда* должны прежде всего быть достаточно поворотливы, потому что при сплавѣ руль дѣйствуетъ только подъ влияніемъ избытка скорости движенія судна надъ скоростью течения, каковой избытокъ всегда бываетъ не великъ.

Судамъ этого рода придаются или формы тяговыхъ судовъ (черт. 57), при требованіяхъ прочной конструкціи и значительной поворотливости \*), или же, при отсутствіи значительныхъ требованій въ сихъ отношеніяхъ, формы, показанныя на черт. 58-а, б, в.

Обыкновенно примѣняемыя пропорціи сплавныхъ судовъ суть слѣдующія:

\*) Поворотливость зависитъ отъ *формъ и пропорцій* судна; формы тяговыхъ судовъ, сообразуемыя главнымъ образомъ съ требованіями *легкости на ходу*, представляются удивительными и въ отношеніи *поворотливости*; въ сплавныхъ судахъ при тѣхъ же формахъ *поворотливость* увеличивается соответственными *пропорціями* ихъ корпуса.

а) при некрутых поворотахъ пути

$$\frac{l}{H} = 4 \text{ до } 5; \quad \frac{L}{l} = 5 \text{ до } 6,$$

б) при крутыхъ поворотахъ, что гораздо чаще бываетъ, вслѣдствіе обычной извилистости сплавныхъ рѣкъ,

$$\frac{l}{H} = 5 \text{ до } 6; \quad \frac{L}{l} = 4 \text{ до } 5.$$

Собственный вѣсъ русскихъ рѣчныхъ грузовыхъ судовъ составляетъ въ ‰ отъ полезнаго груза:

для сплавныхъ судовъ легкой конструкціи. . . . .	8—16 ‰,
„ тяговыхъ легкой конструкціи . . . . .	17—25 ‰,
„ прочныхъ тяговыхъ судовъ . . . . .	30—35 ‰.

*Размѣры* судовъ находятся, какъ сказано, въ зависимости отъ глубины, ширины и крутизны поворотовъ ходовой полосы водяного пути.

При опредѣленіи размѣровъ судовъ *отъ длины и ширины* въ зависимости отъ условій ходовой полосы необходимо имѣть въ виду не только ширины и радіусы поворотовъ ходовой полосы, но и тѣ условія состоянія воды, въ коихъ будетъ происходить движеніе судовъ.

Движеніе судна по озеру во время сильнаго вѣтра и волненія вполне безопасно лишь въ томъ случаѣ, когда судно, взявъ наилучшій, соответственнно направленію волненія, курсъ, не вынуждается его значительно измѣнять; поэтому безопасная ходовая полоса по озеру должна имѣть такую ширину и такіе отлогіе повороты, чтобы во время сильныхъ вѣтровъ и волненій суда могли ее проходить свободно почти прямолинейными курсами. Изъ сего слѣдуетъ, что отношеніе размѣровъ судовъ (длины и ширины) къ ширинѣ и радіусамъ поворотовъ ходовой полосы въ озерахъ вообще не могутъ быть нормированы.

Для воды стоячей, неподверженной волненію, отношенія размѣровъ судна къ ширинѣ и радіусамъ поворотовъ ходовой полосы могли бы быть точно опредѣлены помощью начертанія въ ходовой полосѣ траекторія центра тяжести судна (черт. 59) и положеній судна въ разныхъ точкахъ его траекторіи; но мы не знаемъ въ точно-

сти ни величны радиусовъ траекторій, свойственныхъ судамъ въ поворотахъ, ни величины угловъ, которые оси ихъ могутъ составлять съ касательными къ траекторіямъ, а потому намъ остается пользоваться лишь приблизительными соображеніями.

Намъ извѣстно, что радиусъ поворотной траекторіи центра тяжести судна въ стоячей водѣ имѣеть величину, равную двойной, тройной длинѣ судна, т. е. что

$$R = \text{отъ } 2L \text{ до } 3L.$$

Если радиусъ внутренней границы ходовой полосы (черт. 59) въ самомъ крутомъ ея поворотѣ

$$R_1 = \text{отъ } 2L \text{ до } 3L,$$

то ясно, что ходовая полоса будетъ удобна для поворотовъ судовъ длиною  $L$ , а потому можно принять для простоты, что въ стоячей водѣ отношеніе длины судовъ къ радиусамъ внутренней границы ходовой полосы должно выражаться условіями:

$$L \leq \frac{1}{2} R_1 \text{ и } R_1 \leq 2L.$$

Относительно необходимой ширины ходовой полосы ( $b$ ) въ стоячей водѣ можно принять, что она должна быть такова, чтобы судно длиною  $L$  и шириною  $l$  могло сдѣлать въ ней полный оборотъ; условіе это будетъ удовлетворено, если ширина ходовой полосы будетъ не менѣе діагонали предѣльнаго прямоугольника плана судна, т. е. если

$$b \geq \sqrt{L^2 + l^2},$$

или еще лучше, если

$$b \geq L + l.$$

Въ текущей водѣ, въ рѣкѣ, въ особенности при движеніи судна внизъ по теченію, весьма важную роль играетъ расположеніе стрегня относительно границъ ходовой полосы; если направленіе стрегня не концентрично съ границами ходовой полосы (черт. 60) или проходить весьма близко къ какой-либо границѣ ея (черт. 61), то судно можетъ не пройти черезъ поворотъ.

Условія свободного хода въ поворотахъ рѣки приблизительно будутъ одинаковы съ условіями свободного хода въ поворотахъ стоячей воды, если стрежень рѣки проходитъ въ срединѣ ходовой полосы ея и притомъ имѣетъ направленіе концентричное границамъ ходовой полосы.

Поэтому, если радіусъ кривой стрежня есть  $R$  и наименьшее разстояніе стрежня отъ внутренней границы ходовой полосы есть  $a$  (черт. 62); то условія свободного хода судовъ въ поворотѣ рѣки, аналогично съ условіями свободного хода въ стоячей водѣ, выражаются такъ:

$$L \leq \frac{1}{2} (R - a) \quad \text{и} \quad R \leq 2L + a;$$

$$b = 2a \leq L + l \quad \text{и} \quad a \leq \frac{L + l}{2}.$$

Эти условія ширины ходовой полосы текущей воды въ практическомъ примѣненіи къ рѣкамъ иногда представляются неудобными въ томъ отношеніи, что требуютъ или значительнаго сокращенія размѣровъ судовъ соответственно наименьшимъ ширинамъ хода, въ особенности въ крутыхъ поворотахъ стрежня, или значительныхъ работъ по приспособленію рѣчного пути къ даннымъ размѣрамъ судовъ.

Во избѣжаніе этого рода неудобствъ, судоходная практика выработала нѣкоторые вспомогательные приемы, облегчающіе проходъ судовъ въ крутыхъ и узкихъ поворотахъ ходовой полосы, а также вообще въ поворотахъ ходовой полосы при неблагопріятныхъ теченіяхъ, и, благодаря существованію этихъ приемовъ, оказывается возможнымъ для наиболѣе крутыхъ поворотовъ рѣчного пути принимать условіе, чтобы

$$b = 2a \leq l + \frac{1}{4} L \quad \text{и} \quad a \leq \frac{l}{2} + \frac{1}{8} L.$$

Вспомогательные приемы, облегчающіе проведеніе судовъ чрезъ повороты воднаго пути, состоятъ въ слѣдующемъ:

*а) При сплавѣ и тягѣ судовъ вообще.*

1) Рабочіе, находящіеся на суднѣ, дѣйствуютъ въ случаѣ надобности не только рулемъ, но еще шестами и баграми и съ помощью

ихъ заставляютъ судно совершить требуемый поворотъ въ данныхъ предѣлахъ.

2) Для той же цѣли служить такъ называемый *чигинь* или колъ, опускаемый съ носовой части судна въ наклонномъ положеніи и упирающійся однимъ концомъ въ дно водянаго пути, а другимъ въ бортъ судна (черт. 63); во избѣжаніе поврежденія борта въ мѣстѣ упора чигиня подкладывается подъ его конецъ мягкая подкладка. Носъ движущагося судна, упершись бокомъ въ наклонно поставленный *чигинь*, заставляетъ голову чигиня описывать дугу круга около точки упора чигиня въ дно, какъ около центра и вмѣстѣ съ тѣмъ, отклоняется силою собственнаго движенія и отпора чигиня въ направленіи нормальномъ къ дугѣ, описываемой головой чигиня. Повторительными постановками чигиня носъ судна можно отклонить въ ту или другую сторону на требуемую величину.

#### б) При сплавъ судовъ.

3) Употребляются *потеси*, уже описанныя раньше; онѣ могутъ быть поставлены съ кормы или съ обоихъ концовъ судна, и сильнымъ дѣйствіемъ ихъ можетъ быть замѣнено слабое дѣйствіе руля.

4) Для направленія сплавныхъ судовъ при очень крутыхъ поворотахъ стренія и большихъ скоростяхъ теченія употребляются такъ называемыя упругія заплыви (черт. 64, 65а, 65б и 66). Упругія заплыви представляютъ собою систему изъ двухъ линій обыкновенныхъ *запонецъ*, соединенныхъ между собою упругими связями изъ брусевъ.

Упругія заплыви располагаются у вогнутаго берега; причемъ первая береговая запонь ихъ обыкновенно состоитъ изъ прочно связанныхъ звеньевъ въ два бруса и укрѣпляется къ забитымъ у берега сваямъ; вторая, наружная или ударная запонь состоитъ изъ прочно связанныхъ звеньевъ въ 4, 6 и даже 9 брусевъ, располагается параллельно береговой запони и соединяется съ нею съ верховаго конца наклоннымъ звеномъ на шарнирахъ и далѣе системою наклонныхъ брусевъ тоже на шарнирахъ. Подъ концами наклонныхъ соединительныхъ брусевъ у шарнировъ имѣются деревянные подушки или подкладки, препятствующія этимъ брусамъ совмѣщаться съ линіями запоней.

Изъ чертежа 64 видно, что если судно, гонимое теченіемъ, уда-

рится о наружную запонь; то упругіе брусья, упираясь въ подушки, должны будут согнуться, причемъ разстояніе между береговой п ударной линіей уменьшится соотвѣтственно силѣ удара; возвращаясь засимъ въ свое первоначальное состояніе, упругіе брусья отбросятъ ударную запонь п вмѣстѣ съ нею судно отъ берега, п судно, подхваченное теченіемъ, скользя по ударной запонѣ, направится въ поворотъ. Ударная запонь въ упругихъ заплывахъ должна имѣть очевидно совершенно гладкую наружную боковую поверхность, дабы суда могли свободно по ней скользить.

б) При широкой ходовой полосѣ, но при неблагопріятномъ направленіи теченія п большой его скорости, для споспосованія правильнымъ поворотамъ славныхъ судовъ, можетъ служить такъ называемый *лотъ*. Лотъ представляетъ собою чугунный, въ видѣ невысокой призмы, довольно значительный (иногда до 200 пуд.) грузъ, къ которому прикрѣпляются двѣ веревки. Въ случаѣ надобности осторожнаго спуска судна, лотъ бросается съ носа судна; судно описываетъ около него дугу, становится впередъ кормою п тихо спускается въ такомъ положеніи внизъ по теченію, причемъ лотъ медленно тащется по дну рѣкѣ, п движеніе судна направляется рулемъ п соотвѣтственнымъ натяженіемъ п опусканіемъ веревокъ, взятыхъ отъ лота на оба борта судна (черт. 67). Когда судно выйдетъ изъ поворота и вообще изъ того района, гдѣ дѣйствіе лота можетъ быть полезно, лотъ поднимаютъ п, при помощи руля, судно поворачиваютъ носомъ впередъ для дальнѣйшаго хода.

Вмѣсто лота можетъ быть иногда употребленъ обыкновенный якорь; при этомъ судно, ставъ на якорь п повернувшись кормою внизъ, спускается по мѣрѣ отпусканія якорнаго каната. Еъ проведенію славныхъ судовъ въ поворотахъ можетъ быть въ нѣкоторыхъ случаяхъ примѣненъ п рысковой якорь.

в) При *тяги судовъ* въ поворотахъ примѣняются также нѣкоторыя спеціальныя мѣры, но о нихъ мы скажемъ въ отдѣлѣ „тяги судовъ“.

Размѣры судовъ, кромѣ разсмотрѣнныхъ нами условій ихъ движенія, зависятъ еще отъ условій экономическихъ, т. е. отъ тѣхъ условій, коими опредѣляется *выгодность* перемѣщенія грузовъ на судахъ. Условія эти состоятъ въ слѣдующемъ.

Каждое судно, получая за провозъ грузовъ пзвѣстную сумму,

должно ею покрыть всё расходы, вызываемые процессом перевозки; расходы эти состоятъ въ уплатѣ:

1. Процентъ роста и погашенія капитала, затраченнаго на первоначальное устройство судна.

Если обозначимъ затраченный капиталъ чрезъ  $A$ , годовой процентъ роста и погашенія его, опредѣляемый общими экономическими и коммерческими условіями страны въ данное время, чрезъ  $a$ , то ежегодный расходъ на ростъ и погашеніе капитала будетъ:

$$\frac{a}{100} A.$$

2. Содержанія команды и рабочей силы съ приспособленіями на суднѣ; обозначимъ годовой расходъ на эту статью чрезъ  $B$ .

3. Стоимости ремонта судна, каковая также выражается удобно въ видѣ нѣкотораго процента, положимъ  $b$ , отъ первоначально затраченнаго капитала; такимъ образомъ расходъ на ежегодный ремонтъ выразится такъ:

$$\frac{b}{100} A$$

4. Стоимости нагрузки и выгрузки судна; этотъ расходъ можетъ быть выраженъ слѣдующимъ образомъ.

Если  $c$  есть средняя стоимость рабочаго дня нагрузки и выгрузки,

$$\text{т. е. } c = \frac{k + k_1}{2}, \text{ гдѣ}$$

$k$  есть стоимость рабочаго дня нагрузки,

$k_1$  " " " " выгрузки,

если на нагрузку и выгрузку судна требуется  $m$  дней, и судно дѣлаетъ  $n$  оборотовъ въ навигацію; то годовой расходъ на нагрузку и выгрузку судна будетъ:

*итс.*

5. Расхода движущей силы.

Если предположимъ, что судно дѣлаетъ  $\lambda$  верстъ въ каждый ходовой день, что при этой скорости стоимость движущей силы на версту нути есть  $d$ , и что навигація продолжается  $M$  дней, то число ходовыхъ дней, очевидно, будетъ  $M - mn$ , а расходъ въ годъ на движущую силу будетъ:

$$(M - mn) \lambda d.$$

Прежде чѣмъ сложить всѣ элементы расхода, замѣтимъ, что если разстояніе пунктовъ, между которыми судно совершаетъ рейсы, есть  $s$ , то судно, сдѣлавши  $n$  оборотовъ, пройдетъ путь  $2ns$ , причежь

$$2ns = (M - nm) \lambda.$$

Изъ этого послѣдняго уравненія мы имѣемъ во первыхъ, что расходъ на движущую силу выражается еще въ видѣ

$$2nsd,$$

и во вторыхъ, что

$$n = \frac{M}{m + \frac{2s}{\lambda}}.$$

Если  $P$ —грузоподъемная сила судна, то за годъ оно перевезетъ  $Pn$  пудовъ груза, и эта перевозка обойдется въ слѣдующую сумму:

$$\Sigma = \frac{A}{100} (a + b) + B + nmc + 2nsd.$$

При данныхъ условіяхъ нагрузки и выгрузки, число дней, потребныхъ на эти работы, будетъ пропорціонально грузо-подъемной силѣ судна, т. е.

$$m = \alpha P.$$

Подставляя это значеніе  $m$  въ выраженіе  $\Sigma$ , имѣемъ:

$$\Sigma = \frac{A}{100} (a + b) + B + n\alpha Pc + 2nsd,$$

и, раздѣляя на  $nP$ , получаемъ стоимость перевозки вѣсовой единицы груза:

$$\frac{\Sigma}{nP} = \frac{1}{nP} \left[ \frac{A(a + b)}{100} + B \right] + \alpha c + \frac{2sd}{P}$$

Но мы вывели, что

$$n = \frac{M}{m + \frac{2s}{\lambda}} = \frac{M}{\alpha P + \frac{2s}{\lambda}}.$$

слѣдовательно:

$$\frac{\Sigma}{nP} = \frac{\alpha + \frac{2s}{\lambda P}}{M} \left[ \frac{A(a + \delta)}{100} + B \right] + \alpha c + \frac{2sd}{P}.$$

При возрастаніи грузоподъемной силы  $P$ , стоимость судна возрастает, но въ меньшей пропорціи, чѣмъ  $P$ ; то же самое слѣдуетъ сказать и о расходѣ на команду и содержаніе приспособленій на суднѣ— $B$ . Что касается величины  $s$ , то съ возрастаніемъ  $P$  она также возрастаетъ и особенно быстро, если для нагрузки и выгрузки употребляется сила людей; это происходитъ потому, что при нагрузкѣ судна приходится размѣщать въ немъ грузы соответственно требованіямъ правильнаго ихъ распредѣленія, и въ большемъ суднѣ размѣщеніе требуетъ большей работы, чѣмъ въ маленькомъ; кромѣ того, при большихъ судахъ вообще приходится перемѣщать грузы на большія разстоянія, что также увеличиваетъ работу нагрузки и выгрузки.

Что касается стоимости движущей силы  $d$ , то при сплавѣ  $d=0$ , такъ какъ движущая сила даровая; за исключеніемъ этого случая,  $d$  возрастаетъ вмѣстѣ съ  $P$ , но притомъ различно, смотря потому, служить ли движущей силой парь, или сила людей и животныхъ. Въ первомъ случаѣ  $d$  возрастаетъ почти пропорціонально  $P$ , въ послѣднемъ же случаѣ  $d$  возрастаетъ *быстрее*  $P$ .

Всѣ эти замѣчанія позволяютъ сдѣлать слѣдующіе выводы относительно вліянія грузоподъемной силы судна  $P$  на выгодность передвиженія грузовъ въ судахъ:

1) При перевозкѣ грузовъ на большія разстоянія и при употребленіи паровой движущей силы *выгодно* увеличивать сколь возможно грузоподъемную силу судовъ. Въ самомъ дѣлѣ, при большомъ  $s$ , вліяніе второго члена  $\alpha c$  въ уравненіи  $\Sigma$  будетъ ничтожно; первый же членъ этого уравненія, съ увеличеніемъ  $P$ , убываетъ, а третій остается постояннымъ, слѣдовательно  $\Sigma$ , съ увеличеніемъ  $P$ , убываетъ, т. е. расходы по перевозкѣ въ суммѣ уменьшаются. Этотъ выводъ остается въ силѣ, если  $s$  не очень велико, но за то  $c$ , т. е. стоимость нагрузки и выгрузки, мала, что можетъ имѣть мѣсто при механической нагрузкѣ и выгрузкѣ судовъ.

Если же стоимость нагрузки и выгрузки *с значительна*, а разстояніе перевозки *s не велико*, и притомъ движущей силой служитъ сила

людей или животных, то грузоподъемную силу судов  $P$  увеличивать сверх известного предѣла *нельзя*.

Практика показывает, что вообще наименьшій предѣлъ грузоподъемной силы судовъ, при которомъ перевозка грузовъ на судахъ можетъ конкурировать съ другими способами ихъ передвиженія, есть  $P = 3.000$  пуд.

Принимая эту норму и задавшись опредѣленнымъ типомъ судна, т. е. отношеніями \*)  $\frac{L}{l}$ ,  $\frac{l}{H}$ ,  $\frac{p}{P}$  и  $\frac{W}{LlH} = \varphi$ , изъ выраженія грузоподъемной силы:

$$P = W\delta - p = \varphi LlH\delta - p,$$

можемъ опредѣлить *наименьшую* выгодную въ экономическомъ отношеніи осадку судна  $H$ , а по ней и прочіе размѣры судна. Эта наименьшая выгодная осадка  $H$  оказывается для обыкновенныхъ рѣчныхъ судовъ равной 2,5 фут., а потому наименьшая глубина рѣки, необходимая для выгоды грузаго судоходства, принимается въ 3,5 футъ = 0,50 саж., или шесть четвертей аршина. Въ озерахъ глубина и осадка судовъ опредѣляются обыкновенно въ футахъ, а въ рѣкахъ—въ четвертяхъ аршина.

Необходимость запаса глубины въ 1 футъ для рѣкъ объясняется слѣдующими соображеніями.

Судно на ходу садится глубже, т. е. получаетъ нѣсколько большую осадку чѣмъ въ неподвижномъ положеніи и, кромѣ того, часто получаетъ дифферентъ; а именно, суда, идущія въ стоячей водѣ или по теченію, со скоростями до 20 футъ, получаютъ дифферентъ на носъ, а при большихъ скоростяхъ—на корму.

Рѣчные грузовыя суда, при обыкновенныхъ скоростяхъ ихъ движенія, идущія внизъ по теченію, всегда имѣютъ дифферентъ на носъ; по, идя противъ теченія, получаютъ дифферентъ на корму; этотъ дифферентъ на корму уменьшается однако же и можетъ совершенно уничтожиться, если судно движется тягую, производящею давленіе

---

\*) Нормальныя величины отношеній  $\frac{L}{l}$ ,  $\frac{l}{H}$  и  $\frac{p}{P}$  приведены выше, а  $\varphi$  обыкновенно—отъ 0,8 до 0,9.

на носъ. Вообще увеличеніе осадки судовъ отъ хода въ носъ или кормѣ, при обыкновенныхъ скоростяхъ хода, бываетъ 4—5 дюймовъ, а потому съ увѣренностью можно принять, что въ рѣчныхъ судахъ наибольшее увеличеніе осадки отъ хода не можетъ превышать 6 дюймовъ; если прибавить еще 6" на могуціе оказаться на днѣ случайные твердые предметы, то и получится вышеуказанный необходимый запасъ глубины пути, сравнительно съ осадкой, въ одинъ футъ.

Необходимый запасъ глубины противъ осадки судовъ въ водахъ, подверженныхъ волненію, какъ напр. въ озерахъ, долженъ быть больше и именно долженъ быть таковъ, чтобы судно, попавшее въ ложбину волны, не могло достигнуть дна своимъ килемъ; размѣръ такого запаса глубины, очевидно, опредѣляется высотой волнъ и можетъ быть признанъ вполне достаточнымъ, если онъ равенъ высотѣ волнъ.

Что касается максимальныхъ размѣровъ рѣчныхъ судовъ, то нужно замѣтить, что рѣчные суда не уступаютъ иногда по своимъ размѣрамъ и грузоподъемной силѣ морскимъ судамъ средней величины. Суда, ходяція по Волгѣ съ осадкою въ 6 и болѣе четвертей, несутъ на каждую сажень своей длины, при тяжелой конструкціи, 900—1000 пуд. и при легкой конструкціи—до 1500 пуд.; а такъ какъ длина ихъ достигаетъ 40 саж., то, слѣдовательно, грузоподъемная сила ихъ можетъ быть до 60000 пудовъ.

Такъ называемыя бѣланы (устраиваемыя на одну навигацію и плавающія на рѣкѣ Волгѣ при высокой водѣ съ осадкою до 20 четвертей) вмѣщаютъ до 5500 пудъ груза на каждую сажень своей длины, а всего до 200000 пудовъ.

### *Конструкція судовъ.*

Конструкція судовъ внутренняго плаванія зависитъ отъ ихъ формъ, служебнаго назначенія и матерьяловъ, изъ коихъ они устриваются.

Мы не станемъ входить въ подробности конструкцій разныхъ многочисленныхъ типовъ \*) судовъ внутренняго плаванія, потому что это составляетъ предметъ не нашего курса, а специальной литературы судостроенія; въ дополненіе же ко всему намъ сказанному о судахъ

\*) Въ одной Россіи ихъ болѣе 80.

этого рода вообще дадимъ лишь понятіе о нѣкоторыхъ конструктивныхъ ихъ особенностяхъ, о нѣкоторыхъ главныхъ ихъ частяхъ и принадлежностяхъ, могущихъ имѣть практическое значеніе.

Въ конструкціи судовъ вообще, а слѣдовательно и судовъ внутренняго плаванія въ частности имѣетъ значеніе возвышеніе *борта* надъ грузовой *ватерлиніею*.

Въ судахъ озерныхъ возвышеніе борта надъ грузовой ватерлиніею дѣлается по примѣру морскихъ судовъ съ такимъ расчетомъ, чтобы надводный объемъ судна имѣлъ величину около 20—30% полного объема водопзмѣщенія.

Въ судахъ рѣчныхъ, неподвергающихся волненію, возвышеніе борта надъ грузовой ватерлиніею сообразуется съ потребнымъ для груза помѣщеніемъ, съ размѣромъ судна и съ большею или меньшею необходимостью предохраненія груза отъ сырости: обыкновенная его величина (въ грузовыхъ судахъ) бываетъ отъ 1 до 3 фута.

Рациональная желѣзная конструкція судна вообще отличается отъ деревянной въ слѣдующемъ.

Въ желѣзной конструкціи вся сила жесткости и крѣпкости корпуса судна, какъ цѣлаго, заключается въ скелетѣ или остовѣ его, состоящемъ изъ связанныхъ между собою поперечныхъ и продольныхъ реберъ: прикрѣпляемая къ этимъ ребрамъ сравнительно тонкая желѣзная обшивка служитъ лишь оболочкою, ограждающею внутреннее помѣщеніе судна отъ воды.

Въ деревянной конструкціи существенную часть корпуса составляетъ толстая обшивка, представляющая собою какъ бы скорлупу корпуса, сопротивляющуюся дѣйствию вѣхъ внѣшнихъ силъ; поперечныя-же и продольныя ребра корпуса служатъ главнымъ образомъ связями его скорлупы. Это различіе между желѣзной и деревянной конструкціями ясно видно на чертежахъ 68 и 69.

Поперечныя и продольныя ребра скелета желѣзнаго судна обыкновенно представляютъ собою балки одно-или двутавроваго сѣченія; листовая желѣзная обшивка въ промежуткахъ между основными ребрами скелета иногда поддерживается еще промежуточными балочками изъ углового или тавроваго желѣза.

Вообще детали конструкціи желѣзныхъ судовъ и въ особенности судовъ внутренняго плаванія настолько просты, что мы не станемъ на нихъ останавливаться и перейдемъ къ деревяннымъ конструкціямъ.

Въ грузовыхъ деревянныхъ судахъ впутренняго плаванія наружная обшивка дѣлается изъ досокъ толщиною отъ  $2\frac{1}{2}$  до  $4\frac{1}{2}$  дюймовъ, при чемъ толщина досокъ сообразуется съ тѣми напряженіями, которымъ онѣ подвергаются въ разныхъ частяхъ корпуса. Доски обшивки прибываются къ шпангоутамъ деревянными нагелями, а въ концахъ (у стыковъ) желѣзными гвоздями.

Стыки досокъ располагаются на шпангоутахъ въ перевязку (разстояніе между стыками поперечныхъ досокъ дѣлается около 2 арш.), и всѣ швы между досками тщательно проконопачиваются и сверху закрываются тонкими дощечками, называемыми *лостомъ*, или заливаются *никомъ*.

Конструкція поперечныхъ реберъ (шпангоутовъ) судна зависитъ отъ ихъ очертанія.

При криволинейномъ очертаніи они устриваются изъ брусчатыхъ криволинейныхъ косяковъ, связываемыхъ болтами или въ накладку, (черт. 70) или въ два ряда стыками въ перевязку (черт. 71).

При прямолинейныхъ очертаніяхъ они устриваются изъ коренныхъ брусевъ, вытесанныхъ изъ бревенъ съ корневыми вѣтвями, располагаемыхъ кокорамъ (корневыми вѣтвями) по очередно то къ одному, то къ другому борту, при чемъ къ концамъ брусевъ, не имѣющимъ кокорь, прикрѣпляются приставные кокоры (черт. 72 и 73); у бортовъ, соотвѣтственно требуемому ихъ возвышенію, кокоры наропачаются наставкамъ изъ брусевъ.

Деревянные шпангоуты ставятся другъ отъ друга въ разстояніи отъ  $\frac{1}{2}$  до  $1\frac{1}{2}$  фут. и связываются между собою обшивкою и слѣдующими посами изъ брусевъ:

1) *По дни судна.*

Въ діаметральной плоскости *килемъ*, (черт. 74) или *кильсономъ*, (черт. 75) или килемъ съ кильсономъ (черт. 76); брусья эти нарубаются на шпангоуты и связываются съ ними болтами. Въ плоскодонныхъ судахъ для приданія корпусу большей продольной жесткости иногда кладутся еще (черт. 77) боковые кильсоны—*a* и воротовые брусья—*b*.

2) *Въ бокахъ* (черт. 77).

Продольными схваткамъ, называемыми *бархоутными брусьями*—*c*, насадкою изъ бруса или толстой доски, называемой *бортовымъ брусомъ* или *планширною* доскою—*d*.

Кромѣ сего надъ бархотами съ внутренней стороны нарубаются на шпангоуты и связываются съ ними болтами *присальный брус*—*g* и палубный поясъ или *ватервейсъ g'*. Борты судна (черт. 77) связываются между собою поперечными связями изъ брусень, называемыми *бимсами f*; *бимсы* врубаются лапами въ присальные брусья и скрѣпляются съ шпангоутами болтами; они кладутся другъ отъ друга въ такомъ разстояніи, какое необходимо для поперечной связи судна (около 1—2 саж.) или какое нужно для поддержанія верхняго настила, такъ называемой *палубы* судна (около 0,5 саж.), если она устраивается.

По діаметральной плоскости бимсы поддерживаются брусомъ, такъ называемымъ *конемъ*, который насаживается на шпиль стоекъ, поставленныхъ на кильсонъ.

*Палуба* настилается на бимсахъ изъ досокъ толщиною въ 2½ дюйма, по подкладкамъ, со скатами для стока воды къ бортамъ; при чемъ въ палубномъ поясѣ дѣлаются отверсія и вставляются трубки для выпуска воды за бортъ.

Швы между палубными досками конопатятся и заливаются пькомъ.

Въ озерныхъ судахъ бортъ обыкновенно еще возвышается надъ палубою отъ 0,25 до 0,50 саж. (черт. 78); въ рѣчныхъ-же планширь прямо кладется на палубный поясъ.

Иногда въ рѣчныхъ судахъ, если для груза требуется большое помѣщеніе, вмѣсто палубы устраивается кровля (черт. 79).

Въ кормѣ и въ носу судна въ діаметральной плоскости къ килю и кильсону посредствомъ кокорныхъ наугольниковъ, такъ называемыхъ *кницъ* и болтовъ, прикрѣпляются брусья, называемые *штевнями*: (черт. 80) въ носу — *форштевень* и въ кормѣ — *ахтерштевень*. Наружная обшивка и всѣ продольные пояса врубаются въ четверти, вынутыя въ штевняхъ, и прочно связываются со штевнями гвоздями и болтами.

Для помѣщенія груза, по дну судна на подкладкахъ по шпангоутамъ устраивается грузовой полъ (черт. 77) а бока судна обшиваются изнутри иногда досками.

Для приданія плоскодоннымъ судамъ ббльшей продольной жесткости въ бортахъ ихъ между внутренними бархотами и воротовыми

брусьями ставятся подкосы изъ брусевъ (черт. 81) или прикрѣпляются арочные пояса (черт. 82).

Кромѣ вышеописаннаго руля, прикрѣпляемаго къ *ахтерштевню*, необходимыми принадлежностями грузоваго судна представляется:

1) *Мачта*.

Она служитъ для прикрѣпленія *парусовъ* и *бичевы* для бичевой тяги, ставится нѣсколько впереди центра тяжести судна и укрѣпляется въ кильсонѣ и въ палубѣ.

2) *Вороты горизонтальные или вертикальные* (кабестаны).

*Вороты* и *кабестаны* небольшого размѣра самой простой конструкции ставятся на палубѣ у носа, а иногда у носа и кормы, съ цѣлью подъема якорей и подтягиванія судна на небольшія разстоянія.

3) *Кнехты*, т. е. деревянные выступы въ видѣ тумбъ, укрѣпляемые въ бортахъ у носа и кормы; кнехты служатъ для привчала судна.

4) *Водоотливныя приспособленія*.

Приспособленія этого рода состоятъ изъ простѣйшихъ насосовъ и *леекъ* и необходимы на каждомъ суднѣ, на случай возможной его течи.

и 5) *Якоря* (одинъ или два на случай потери одного); *шесты*, *багры* и *снасти*, т. е. необходимое для разныхъ надобностей количество веревокъ и канатовъ.

#### § 4. Тяга судовъ.

Самый первобытный способъ тяги судовъ есть тяга силою людей и животныхъ, идущихъ по берегу. Изъ животныхъ къ этой работѣ примѣняются преимущественно, а у насъ исключительно, лошади. Этотъ способъ называется *бичевою* тягою (потому что для осуществленія его употребляется тонкій канатъ, называемый *бичевою*) и заключается въ слѣдующемъ:

Одинъ конецъ длинной бичевы прикрѣпляется на извѣстной высотѣ къ мачтѣ судна (черт. 83), другой — передается на берегъ; къ нему припрягаются люди или лошади, которые идутъ по берегу вперёдъ и *тянутъ* за собою судно.

Чтобы мачта подъ вліяніемъ тяги не подвергалась значительному изгибающему усилію, мѣсто прикрѣпленія къ ней бичевы связы-

вается съ кормою судна веревочнымъ тяжемъ; иногда въ замѣнъ этого бичева перекидывается чрезъ блокъ, приврѣпленный на извѣстной высотѣ къ мачтѣ и концемъ своимъ закрѣпляется за корму.

На бичеву со стороны носа судна обыкновенно надѣвается кольцо, къ которому привязывается крѣпкая веревка перекинутая чрезъ блокъ укрѣпленный въ носу судна; веревка эта называется *бурундукомъ*; натяженіемъ ея можно удерживать носъ судна на извѣстномъ разстояніи отъ бичевы въ планѣ и въ случаѣ надобности приблизить къ бичевѣ, т. е. вообще можно до извѣстной степени управлять движеніемъ судна въ поворотахъ ходовой полосы и при измѣненіяхъ въ направленіи тяги. Та полоса берега, по которой идутъ тягловые люди или лошади, называется *бичевникомъ*.

Само собою разумѣется, что бичевая тяга вообще примѣнима лишь на такихъ путяхъ, которые имѣютъ вблизи ходовой полосы берегъ съ *бичевникомъ*, удобнымъ для хода людей или лошадей, т. е. на каналахъ, на нѣкоторыхъ рѣкахъ и иногда на озерахъ у береговъ въ тихую погоду.

Условія хода судна подъ бичевою тягою въ стоячей водѣ суть слѣдующія:

Пусть въ планѣ (черт. 84) ось судна имѣетъ положеніе параллельное оси бичевника, при чемъ бичева составляетъ съ осью судна и съ осью бичевника нѣкоторый уголъ  $\alpha$ ; если горизонтальное усиліе натяженія бичевы есть  $R$ , то составляющія его будутъ: по оси судна —  $R\cos\alpha$  и по нормали къ оси судна —  $R\sin\alpha$ . Усиліемъ  $R\cos\alpha$  судно будетъ перемѣщаться впередъ въ направленіи своей оси, а усиліемъ  $R\sin\alpha$  судно будетъ постепенно притягиваться къ берегу и по прошествіи нѣ котораго времени неизбежно пристаетъ къ нему. Чтобы этого не случилось, т. е. чтобы центръ тяжести судна двигался постоянно въ направленіи параллельномъ оси бичевника, сопротивленіе воды движенію судна должно постоянно противудѣйствовать приближенію его къ берегу, а для этого ось судна должна составлять съ желаемымъ направленіемъ движенія центра тяжести судна нѣкоторый уголъ  $\beta$ .

Предположимъ, что посредствомъ руля и бурундука судно поставлено въ такое положеніе, что ось его составляетъ уголъ  $\beta$  съ желаемымъ направленіемъ движенія его центра тяжести и что центръ его тяжести движется въ желаемомъ направленіи со скоростію  $v$ ; тогда

составляющія этой скорости будутъ: въ направленіи оси судна— $v \cos \beta$  и въ направленіи нормали къ ней— $v \sin \beta$ ; а слѣдовательно, сопротивленія воды движенію судна приблизительно будутъ: въ направленіи его оси

$$P_1 = Av^2 \cos^2 \beta$$

въ направленіи нормали къ ней

$$P_2 = Bv^2 \sin^2 \beta.$$

гдѣ  $A$  и  $B$ —нѣкоторыя постоянныя величины для одного и того же судна.

Сопротивленіе воды движенію центра тяжести судна параллельно оси бичевника, очевидно, будетъ:

$$P_3 = P_1 \cos \beta + P_2 \sin \beta = Av^2 \cos^3 \beta + Bv^2 \sin^3 \beta.$$

Сопротивленіе же воды движенію центра тяжести судна въ направленіи къ бичевнику, т. е. по нормали къ оси бичевника, будетъ:

$$P_4 = P_2 \cos \beta - P_1 \sin \beta = Bv^2 \sin^2 \beta \cos \beta - Av^2 \cos^2 \beta \sin \beta.$$

Для того, чтобы, при поступательномъ движеніи конца бичевы по оси бичевника, центръ тяжести судна двигался въ направленіи параллельномъ оси бичевника и не приближался къ бичевнику, необходимы слѣдующія уравненія силъ:

$$R \cos \alpha = P_3 = Av^2 \cos^3 \beta + Bv^2 \sin^3 \beta . . . (1)$$

и

$$R \sin \alpha = P_4 = Bv^2 \sin^2 \beta \cos \beta - Av^2 \cos^2 \beta \sin \beta . . . (2)$$

Изъ этихъ двухъ уравненій сложениемъ и вычитаніемъ получаемъ:

$$R \cdot \sin (\alpha + \beta) = Bv^2 \sin^3 \beta . . . . . (3)$$

и

$$R \cdot \cos (\alpha + \beta) = Av^2 \cos^3 \beta . . . . . (4)$$

Откуда

$$R = v^2 \sqrt{B^2 \sin^4 \beta + A^2 \cos^4 \beta} . . . . . (5)$$

Изъ уравненія второго видно, что какъ бы не былъ малъ уголъ  $\alpha$ .

уголъ  $\beta$  не можетъ быть равенъ нулю и долженъ быть тѣмъ больше, чѣмъ больше уголъ  $\alpha$ .

Изъ уравненія 4-го видно, что сумма угловъ  $\alpha + \beta$  должна быть менѣе  $90^\circ$ , такъ какъ при  $\alpha + \beta = 90^\circ$  потребная сила тяги для движенія центра тяжести судна параллельно оси бичевника дѣлается безконечно большою, т. е. желаемое движеніе судна впередъ дѣлается невозможнымъ.

Изъ уравненій 1-го и 5-го видно, что потребная сила тяги тѣмъ больше, чѣмъ больше углы  $\alpha$  и  $\beta$  и что вообще какъ сопротивленія движенію судна на бичевѣ, такъ и сила тяги бичевой, значительно больше того сопротивленія, которое судно встрѣчаетъ двигаясь въ направленіи своей оси подъ вліяніемъ тяги, совпадающей съ направленіемъ его движенія.

Величину дѣйствительныхъ сопротивленій воды бичевой тягѣ опредѣлить весьма трудно, а тѣмъ болѣе трудно дать точное выраженіе потребнаго усилія тягловцевъ; потому что величина этого усилія зависитъ не только отъ угловъ составляемыхъ въ горизонтальной плоскости бичевою съ осью судна и съ направленіемъ движенія тягловцевъ, но и отъ угла составляемаго упряжнымъ концемъ бичевы съ горизонтомъ.

Чтобы усиліе тягловцевъ не было чрезмѣрно большимъ, уголъ, составляемый упряжнымъ концемъ бичевы съ горизонтомъ долженъ быть  $= 0$ , уголъ составляемый (въ горизонтальной плоскости) бичевою съ осью судна ( $\alpha + \beta$ ) долженъ быть не болѣе  $30^\circ$  и уголъ составляемый бичевою съ направленіемъ хода тягловцевъ долженъ быть не болѣе  $15^\circ$ .

Бичева въ вертикальной плоскости принимаетъ видъ кривой линіи (чер. 86), уравненіе коей есть

$$y = \frac{m}{2} \left( e^{\frac{x}{m}} - e^{-\frac{x}{m}} \right)$$

гдѣ

$$m = \frac{R}{p}$$

$R$ —горизонтальная натянутость бичевы,

$p$ —вѣсъ единицы длины бичевы,

$e$ —основаніе неп. лог.

Если бичева пеньковая и соотвѣтствуетъ усилю тяги, т. е. если это усилю вызываетъ въ ней напряженіе прочнаго сопротивленія, то при измѣреніяхъ въ саженьяхъ и пудахъ можно приблизительно принять

$$m = \frac{R}{p} = 500 .$$

Зная разстояніе траекторіи судна отъ оси бичевника— $\lambda$  и задаваясь угломъ, составляемымъ бичевою съ осью бичевника,  $\alpha$ , мы можемъ опредѣлить горизонтальное разстояніе мачты судна отъ упряжнаго конца бичевы

$$X = \frac{\lambda}{\sin \alpha} .$$

Зная  $X$  мы можемъ вычислить  $Y$ , а слѣд. и

$$h = Y - m .$$

т. е. то необходимое возвышеніе точки прикрѣпленія бичевы къ мачтѣ надъ упряжнымъ концемъ бичевы, при коемъ конецъ этотъ будетъ горизонталенъ.

Зная засимъ то возвышеніе упряжнаго конца бичевы надъ бичевникомъ, которое соотвѣтствуетъ удобной работѣ тягловцовъ, можно очевидно опредѣлить и необходимое для хорошей тяги возвышеніе точки прикрѣпленія бичевы къ мачтѣ надъ бичевникомъ.

Чтобы требованіе горизонтальности упряжнаго конца бичевы было исполнимо при практикуемой высотѣ мачтъ до 5 саж., поверхность бичевника не должно возвышаться надъ уровнемъ воды болѣе 2,5 саж.

Полезное дѣйствіе людей и лошадей въ бичевой тягѣ зависитъ отъ угла составляемаго (въ горизонтальной плоскости) бичевою съ направлениемъ ихъ хода, отъ скорости тяги, отъ состоянія и удобства бичевника и наконецъ отъ числа впрягаемыхъ лошадей и людей; для каждой тяговой единицы оно тѣмъ меньше, чѣмъ больше число тянущихъ единицъ, чѣмъ хуже дорога бичевника, чѣмъ больше скорость тяги, и чѣмъ большій уголъ составляетъ бичева въ горизонтальной плоскости съ направлениемъ хода тянущихъ.

Средняя нормальная скорость хода человѣка въ бичевой тягѣ, или, что тоже, средняя скорость бичевой тяги людьми въ стоячей водѣ,

приблизительно равняется 1 футу въ секунду или 1 верстѣ въ часъ и въ сутки около 12—13 верстѣ.

Съ такою скоростью и при всѣхъ благоприятныхъ обстоятельствахъ человекъ можетъ тянуть въ стоячей водѣ: работая въ числѣ 2—3 человекъ—3000 пуд. груза въ суднѣ, работая въ числѣ 12—14 человекъ 1500 пуд. и работая въ числѣ болѣе 15 человекъ около 1000 пуд.

Съ увеличеніемъ скорости тяги полезное дѣйствіе тяглового человека убываетъ, приблизительно, обратно пропорціонально квадратамъ скоростей тяги; такъ, если при нормальной скорости тяги  $v$  полезное дѣйствіе одного человека есть  $p$ , то при скорости тяги  $v_1$  полезное дѣйствіе одного человека будетъ

$$p_1 = p \frac{v^2}{v_1^2}.$$

Для воды стоячей  $v$  выражаетъ увеличенную скорость хода тягловъ противу нормальной ( $v$ ).

Для воды текущей со скоростью  $v_0$  при тягѣ противъ теченія со скоростью хода— $v'$

$$v_1 = v' + v_0$$

при тягѣ по теченію со скоростью хода  $v''$

$$v_1 = v'' - v_0.$$

Средняя нормальная скорость хода лошади въ бичевой тягѣ, или, что тоже, средняя скорость бичевой тяги лошадьми въ стоячей водѣ, приблизительно равняется 2 футамъ въ 1 секунду или 2 верстамъ въ часъ и въ сутки около 25 верстѣ.

Норму полезнаго дѣйствія лошади въ бичевой тягѣ весьма трудно установить; опытъ-же показываетъ, что силу тяги русской лошади, при вдвое большей скорости тяги сравнительно съ людскою тягою, можно принимать приблизительно равною силѣ трехъ человекъ, т. е. при нормальной скорости тяги (около 2 ф. въ 1 секунду) отъ 3000 до 9000 пудовъ. При употребленіи смѣнныхъ лошадей скорость тяги можетъ быть доведена до 3,5—4 верстѣ въ часъ; но сила тяги одной лошади можетъ быть при этомъ не выше 6000 пудовъ.

Изъ сказаннаго видно, что бичевая тяга съ выгодою и удобствомъ можетъ быть примѣнима: преимущественно въ стоячей водѣ, въ текущей при слабыхъ скоростяхъ теченія и вообще къ судамъ небольшого размѣра. Она можетъ быть выгодна и дешева сравнительно съ другими способами тяги лишь въ томъ случаѣ, когда полезное дѣйствіе одного человѣка въ ней достигаетъ не менѣе 1500 пудовъ, а полезное дѣйствіе одной лошади не менѣе 4500 пудовъ.

Если примѣненіе бичевой тяги на естественномъ водяномъ пути встрѣчаетъ мѣстами незначительныя неудобства въ крутыхъ поворотахъ бичевника или въ большихъ скоростяхъ противнаго теченія; то эти мѣстныя неудобства устраняются слѣдующими приспособленіями.

Въ крутыхъ поворотахъ бичевника для соответственнаго направленія бичевы устанавливаются такъ называемые отводные блоки—*a* (черт. 86). Отводный блокъ представляетъ собою деревянный вертикальный валъ (черт. 87), вращающійся въ подшипникахъ.

Въ мѣстахъ слишкомъ большихъ скоростей противнаго теченія, на бичевникѣ устанавливаются *кабестаны* (вертикальные ворота) и бичева тянется кабестанами.

Но на многихъ рѣкахъ примѣненіе бичевой тяги встрѣчаетъ значительныя неудобства въ слишкомъ отдаленномъ расположеніи ходовой полосы отъ берега и въ такихъ переходахъ ея отъ одного берега къ другому, которые вызываютъ необходимость перехода или переезда тягловыхъ людей и лошадей съ одного берега на другой. Всѣ этого рода неудобства и невыгоды бичевой тяги и въ особенности въ примѣненіи противъ сильнаго теченія и къ судамъ значительныхъ размѣровъ привели къ изобрѣтенію разныхъ видовъ *буксирной тяги*. Главное отличіе буксирной тяги отъ бичевой заключается, въ томъ, что тяга этого рода дѣйствуетъ на судно въ направленіи его движенія, т. е. вообще въ направленіи касательной къ его траекторіи.

Первымъ видомъ буксирной тяги представляется *тяга на завозныхъ якоряхъ* съ того самаго судна, которое требуется двигать.

Вторымъ—*тяга коноводными машинами*.

Третьимъ—*паровая кабестанная тяга*.

Четвертымъ—*буксирная парородная тяга*.

и Пятымъ—*туерная тяга*.

*Тяга на завозныхъ якоряхъ* заключается въ слѣдующемъ:

Впередъ судна, въ желанномъ направленіи его движеній завозится

на особой лодкѣ, называемой *завозней*, якорь съ длиннымъ канатомъ (иногда длиною до 600 саж.); якорь бросается на дно рѣки и завозня спускается внизъ по теченію къ судну по канату; конецъ коего отдается на судно. Принятый на судно канатъ навивается на приводимый въ движеніе людьми кабестанъ, стоящій на суднѣ и судно двигается впередъ. За сѣмъ завозится второй якорь и судно, подойдя къ первому якорю, начинаетъ тянуться за переданный ему канатъ отъ зашпунтаго второго якоря; послѣ сего первый якорь подымаютъ и вновь тѣмъ-же порядкомъ завозятъ впередъ.

Такимъ образомъ судно тянется непрерывно попеременно то на одномъ, то на другомъ якорѣ.

Тяга на завозныхъ якоряхъ очень медленна и не выгодна; въ настоящее время она можетъ быть примѣнима лишь на короткихъ разстояніяхъ при отсутствіи другихъ болѣе выгодныхъ способовъ тяги.

*Конюводная машина* представляетъ собою деревянное судно большихъ размѣровъ съ помѣщеніемъ для лошадей и обширную палубою, на которой поставленъ конный кабестанъ, т. е. кабестанъ, приводимый въ движеніе лошадьми. Посредствомъ этого кабестана машина тянется впередъ на завозныхъ якоряхъ и тянетъ за собою на канатахъ, называемыхъ буксирами, грузовыя суда.

Конюводныя машины съ начала текущаго столѣтія были у насъ въ большомъ ходу на Волгѣ, но въ настоящее время съ развитіемъ пароходства вышли изъ употребленія.

*Паровая кабестанная тяга* производится съ такъ называемыхъ кабестанныхъ пароходовъ. Кабестанный пароходъ представляетъ собою небольшое паровое судно съ кабестаномъ, приводимымъ въ движеніе силою пара. Кабестанный пароходъ беретъ на буксиръ грузовыя суда и тянется вмѣстѣ съ ними посредствомъ своего пароваго кабестана на завозныхъ якоряхъ, которые завозятся на особыхъ маленькихъ пароходикахъ, называемыхъ *затѣжками*.

Съ усовершенствованіемъ конструкціи буксирныхъ пароходовъ паровая кабестанная тяга, какъ и конно-машинная, потеряла свое значеніе.

*Пароходная буксирная и тугерная тяга* представляются наиболѣе совершенными видами тяги; онѣ служатъ какъ-бы дополненіемъ одна къ другой и при дальнѣйшихъ усовершенствованіяхъ особенно въ

конструкціяхъ пароходовъ нужно полагать вытѣснить собою всѣ другіе виды тяги.

Въ настоящее время съ пароходною буксирною тягою можетъ еще конкурировать бичевая тяга, но въ тѣхъ только случаяхъ, когда условія пути особенно благоприятны для нея и неудобны для пароходнои тяги.

Движуцій механизмъ парохода обыкновенно состоитъ или изъ лопатчатыхъ гребныхъ колесъ или изъ гребнаго винта, приводимыхъ въ вращательное движеніе паровою машиною.

Гребныя колеса и винтъ, вращаясь, отбрасываютъ назадъ извѣстныя массы воды и реакція (сопротивленіе) отбрасываемой массы воды заставляеть пароходъ двигаться впередъ:

Колесные пароходы имѣютъ или два гребныя колеса (черт. 88), расположенныя у середины длины судна по обѣ стороны его корпуса или одно гребное колесо (черт. 89), расположенное за кормою судна. Въ *двухъ-колесныхъ* пароходахъ ось вращенія колесъ находится всегда нѣсколько впереди центра тяжести судна и колеса насаживаются (черт. 90) или на одинъ общій горизонтальный валъ или на два отдѣльные горизонтальные вала, которые совпадаютъ осями и могутъ быть сообщены между собою въ одно цѣлое или, въ случаѣ надобности, разъобщены. Гребныя лопатки располагаются по радиусамъ колесъ и устриваются или неподвижными въ ободьяхъ колесъ или вращающимися на шарнирахъ, прикрѣпленныхъ къ ободьямъ колесъ. Эта послѣдняя конструкція (черт. 92) имѣетъ цѣлью достиженіе того, чтобы гребныя лопатки вступали въ воду и выходили изъ нея приблизительно въ вертикальномъ положеніи, чѣмъ въ значительной мѣрѣ уменьшаются вредныя сопротивленія въ работѣ колесъ. Съ этою цѣлью лопатки соединяются шарнирными колѣнчатыми рычагами съ дискомъ *T*, который вращается на горизонтальной оси, прикрѣпленной внѣ центра колеса къ стѣнкѣ *кожуха* его, т. е. ящика, покрывающаго колесо сверху. Всѣ колѣнчатые рычаги, идущіе отъ лопатокъ, за исключеніемъ одного, соединяются съ дискомъ *T* шарнирами, одинъ-же изъ нихъ укрѣпляется въ дискѣ неподвижно и при вращеніи колеса вращаетъ дискъ.

Въ пароходахъ винтовыхъ гребной винтъ помѣщается за кормою судна (черт. 92) и представляетъ собою муфту съ радіальными винтовыми лопостями, насаженную на горизонтальный валъ, ось коего

находится въ діаметральной плоскости судна; обыкновенный видъ гребнаго винта показанъ на черт. 93.

Чтобы найти приблизительное выраженіе движущей пародой силы представимъ себѣ (черт. 94), что въ массу стоячей воды погружена и удерживается неподвижно колѣчатая труба  $AB$ , изъ конца коей  $B$ , имѣющаго площадь отверстія  $-a$ , а изливается вода со скоростью  $-v$ ; если въсь куб. единицы изливающейся воды есть  $-\delta$  то давленіе, производимое изливающейся водою на массу стоячей воды, будетъ  $= \frac{\delta \cdot av^2}{2g} =$  той реакціи, которую стоячая вода представляетъ истеченію воды изъ конца трубы  $B$ .

Если-бы труба  $AB$  не удерживалась неподвижно, а будучи ка-кимъ-либо образомъ подвѣшена, была предоставлена самой себѣ, то очевидно она начала-бы двигаться въ сторону обратную истеченію воды изъ конца ея  $B$ , съ нѣкоторою скоростью  $u$  и давленіе произ-водимое истекающею изъ нея водою на массу стоячей воды, равное реакціи стоячей воды, было-бы  $= \frac{\delta a(v-u)^2}{2g} =$  силѣ, движущей трубу.

Примѣняя эти разсужденія къ колесному пароходу и обозначая чрезъ:

$a$ —сумму площадей лопатокъ, одновременно давящихъ на воду.

$v$ —линейную скорость центра давленія лопатокъ или что тоже среднюю линейную скорость отходящей отъ лопатокъ воды.

$u$ —относительную скорость движенія парохода.

$k'$ —коэффициентъ давленія лопатокъ.

Получимъ слѣдующее выраженіе движущей силы парохода.

$$F = \frac{k' \delta a (v-u)^2}{2g}$$

Это выраженіе дано извѣстнымъ нѣмецкимъ профессоромъ Ред-тенбахеромъ и въ своемъ общемъ видѣ можетъ быть примѣнено и къ винтовому пароходу, если подъ  $v$  подразумѣвать среднюю линейную скорость отходящей отъ винта воды.

Если абсолютная скорость движенія парохода есть  $u_0$  и скорость теченія воды есть  $c$ , то при ходѣ парохода:

противъ течения . . . . .  $u = u_0 + c$

по теченію. . . . .  $u = u_0 - c$   
 и въ стоячей водѣ . . . . .  $u = u^0$

а слѣдовательно общее выраженіе движущей силы парохода есть

$$F = \frac{k' \delta a [(u_0 \pm c)]^2}{2g}$$

Въ этомъ выраженіи можно принимать слѣдующія теоретическія значенія  $v$ :

для колесныхъ пароходовъ при радиусѣ центра давленія лопатокъ  $r$  и при одномъ оборотѣ колеса въ теченіи  $m$  секундъ

$$v = \frac{2\pi r}{m}$$

для винтовыхъ пароходовъ при шагѣ винта  $h$  и  $n$  оборотахъ винта въ секунду

$$v = nh.$$

Изъ опыта оказывается, что между теоретическими значеніями  $v$  и относительными скоростями хода пароходовъ существуетъ опредѣленная зависимость, а именно:

въ колесныхъ пароходахъ

$$u = u_0 \pm c = 0,7v = 0,7 \cdot \frac{2\pi r}{m} \text{ приблизительно;}$$

въ винтовыхъ пароходахъ

$$u = u_0 \pm c = 0,8v = 0,8nh \text{ приблизительно.}$$

Если мы обозначимъ сопротивленіе движенію парохода чрезъ

$$P = Au^2 = A(u_0 \pm c)^2$$

то сила  $тгм$  парохода будетъ

$$R = F - P = \frac{k' \delta a [v - (u_0 \pm c)]^2}{2g} - A(u \pm c)^2.$$

Сила эта должна равняться сопротивленію всѣхъ буксируемыхъ пароходомъ судовъ, т. е.  $R$  должно быть  $= \Sigma P_n$ .

Сила тяги парохода противъ теченія, какъ видно изъ выраженія ея

$$R = \frac{k' \beta a (v - u_0 - c)^2}{2g} - A(u + c)^2$$

значительно убываетъ съ возрастаніемъ противной скорости теченія; а такъ какъ сопротивленіе движенію судовъ, при противномъ теченіи, также значительно возрастаетъ; то дѣлается совершенно понятнымъ, почему тяга судовъ буксирными пароходами противъ теченія возможна лишь при скоростяхъ противнаго теченія, не превосходящихъ извѣстнаго предѣла.

Пароходы старыхъ конструкцій не могли буксировать груженыхъ судовъ противъ теченія при уклонахъ потока около 0,0002 и скоростяхъ противнаго теченія около 3,5 футъ; обыкновенные пароходы настоящаго времени не могутъ надлежащимъ образомъ буксировать судовъ при скоростяхъ противнаго теченія свыше 6 футъ въ 1 секунду.

Средняя скорость тяги обыкновеннымъ буксирнымъ пароходомъ составляетъ 5 футъ въ 1 секунду или около 5 верстъ въ часъ. Буксирный пароходъ, встрѣчая мѣстное препятствіе въ сильномъ противномъ теченіи долженъ или уменьшить число буксируемыхъ имъ судовъ или воспользоваться *помощью* другой тяги или наконецъ прибѣгнуть одновременно къ тому и другому способу борьбы съ теченіемъ. Въ такихъ случаяхъ буксирные пароходы обыкновенно пользуются помощью или конной бичевой тяги или кабестанной тяги на завозныхъ якоряхъ, если на нихъ имѣются паровые кабестаны.

На рѣкѣ Ронѣ (во Франціи) нѣкоторые буксирные пароходы (называемые *старіис*) снабжены особымъ большимъ колесомъ, съ желѣзными зубьями, которое помѣщается въ прорѣзѣ корпуса судна по діаметральной плоскости; колесо это, при встрѣчѣ сильнаго противнаго теченія (на перевалахъ), опускается на дно рѣки, приводится машиною парохода во вращательное движеніе и, зацѣпляясь своими зубьями за дно рѣки, производитъ энергичную тягу.

Буксируемые пароходомъ суда припрягаются къ нему: а) въ случаѣ тяги въ стоячей водѣ и протявъ теченія—сзади, одно за другимъ въ разстояніи около 10 саж., однимъ (чер. 95) или двумя (чер. 96) буксирными канатами; причемъ два буксирные каната употребляются съ цѣлью лучшаго направленія судовъ въ поворотахъ ходовой полосы; б) въ случаѣ тяги внизъ по теченію—съ боковъ и сзади по нѣсколько въ рядъ (чер. 97) почти вплотную одно къ другому, со тою цѣлью, чтобы по возможности ослабить ударъ судовъ другъ о друга при случайныхъ остановкахъ хода.

Полезная работа машины буксирнаго парохода выражается слѣ-

дующимъ образомъ. Если скорость тяги, т. е. относительная скорость движенія *воза* (пѣзда изъ судовъ) есть  $u$ , сопротивление движенію судовъ есть  $\Sigma P_n$  и сопротивление движенію парохода есть  $P$ , то полное сопротивление движенію *воза*

$$F = \Sigma P_n + P$$

и полезная работа машины парохода

$$T_r = u \times F$$

Индикаторная работа паровой машины парохода поэтому будетъ

$$T_i = \mu \cdot T_r = \mu \cdot u \cdot F$$

гдѣ  $\mu$  есть обратная величина коэффициента полезнаго дѣйствія паровой машины, т. е.  $\mu = \frac{1}{\varphi}$ .

Обыкновенно  $\varphi =$  отъ 0,5 до 0,66, а слѣдовательно

$$\mu = \text{отъ } 2 \text{ до } 1,5.$$

Индикаторная работа хорошей паровой машины въ паровыхъ лошадей, при  $u$  въ футахъ и  $F$  въ пудахъ, поэтому будетъ

$$N_i = \frac{1,5u \cdot F}{15} = 0,1uF \text{ паровыхъ лошадей.}$$

Колесные и винтовые буксирные пароходы имѣютъ слѣдующіе сравнительные недостатки и достоинства.

Двухъ-колесные пароходы при волненіи работаютъ неодинаково своими двумя колесами и потому на ходу поворачиваются, т. е. *рыскаютъ*; они требуютъ сравнительно съ винтовыми пароходами ходовую полосу большей ширины, но меньшей глубины и на поверхности воды разводятъ сильную волну, которая въ не широкихъ путяхъ вредно дѣйствуетъ на берега; при работѣ противъ теченія, они теряютъ больше въ движущей силѣ, чѣмъ винтовые пароходы.

Одноколесные пароходы не *рыскаютъ*, требуютъ меньшей ширины ходовой полосы, чѣмъ двухъ-колесные, но въ поворотливости уступаютъ двухъ-колеснымъ пароходамъ, и въ особенности имѣющимъ раздѣльный валь, дающій возможность помогать повороту большаю работою одного колеса.

Пароходы винтовые, сравнительно съ колесными, представляютъ преимущество въ томъ, что обладаютъ болѣе сильнымъ и болѣе правильнымъ ходомъ, болѣею поворотливостью и требуютъ меньшей ширины ходовой полосы; но въ то же время они имѣютъ большую осадку сравнительно съ колесными пароходами и требуютъ сравнительно болѣе глубоины въ ходовой полосѣ. Поэтому слѣдуетъ отдавать предпочтеніе винтовымъ пароходамъ во всѣхъ случаяхъ, когда глубина ходовой полосы допускаетъ надлежащее ихъ примѣненіе. Двухъ-колесные пароходы представляются болѣе удобными на мелководныхъ широкихъ путяхъ, неподверженныхъ волненію; одноколесные же болѣе удобны на такихъ неподверженныхъ волненію мелководныхъ путяхъ, ширина коихъ недостаточна для пароходовъ двухъ-колесныхъ.

Недостатокъ силы и малый коэффициентъ полезной работы пароходныхъ машинъ привелъ къ изобрѣтенію особаго способа буксирной тяги, такъ называемаго *туаж*.

Идея *туаж* заимствована изъ кабестанской тяги, съ устраненіемъ того, что составляло главный недостатокъ этого вида тяги, а именно, съ устраненіемъ періодическаго *завоза* якорей и послѣдовательной укладки тяговаго каната.

Устройство *туаж* или туерной тяги заключается въ слѣдующемъ.

Въ тѣхъ конечныхъ пунктахъ водяного пути, между которыми предполагается перемѣщать суда туерною тягою, разъ навсегда кладутся прочные якоря и между якорями на всемъ протяженіи пути на дно его, по оси ходовой полосы, укладывается цѣпь, въ концахъ прочно прикрѣпленная къ якорямъ.

У мѣста отправленія судовъ цѣпь приподымается со дна водяного пути и накладывается на приводимый въ движеніе паровою машиною горизонтальный воротъ или блокъ, особаго устройства, находящійся на специальномъ суднѣ, называемомъ *туеромъ*. Перекивая цѣпь на своемъ воротѣ или блокѣ, туерь тянется по ней впередъ и тянетъ за собою, припряженные къ нему на буксирахъ суда.

Туерь представляетъ собою прочное, обыкновенно плоскодонное, судно, совершенно симметричное относительно миделя т. е. съ одинаковыми образованіями носа и кормы и потому могущее одинаково удобно двигаться въ направленіи оси своей въ противоположныя

стороны. Съ обоихъ концовъ туеръ снабжается съемными рулями, которые служатъ для управленія его ходомъ по цѣпи.

Иногда туеръ снабжается такими приспособленіями, при помощи коихъ, въ случаѣ надобности, онъ можетъ быть вооруженъ гребными колесами или гребнымъ винтомъ и они будутъ приводиться въ движеніе находящеюся на немъ паровою машиною.

Такого рода приспособленія на туерѣ весьма важны въ томъ отношеніи, что туеръ можетъ въ случаѣ надобности работать какъ буксирный пароходъ и при случайномъ разрывѣ цѣпи можетъ легко выйти изъ затрудненія.

Первоначальное устройство туера показано на чер. 98. Въ этомъ туерѣ воротъ состоитъ изъ двухъ одновременно вращающихся параллельныхъ горизонтальныхъ желобчатыхъ блоковъ (съ пятью желобками каждый). Тяговая цѣпь охватываетъ четыре раза оба блока и въ концахъ судна направляется особыми вращающимися вилками.

Туерный воротъ этого рода имѣетъ недостатки, которые главнымъ образомъ заключаются:

1) въ томъ, что блоки навивающіе цѣпь неравномѣрно изнашиваются и неравномѣрное ихъ изнашивание вызываетъ въ цѣпи значительныя добавочныя напряженія, и

2) въ томъ, что постановка туера на цѣпь и освобожденіе его отъ цѣпи сопряжены съ затрудненіями и возможны лишь въ извѣстныхъ только мѣстахъ, гдѣ имѣются ключи (соединительныя звенья), цѣпи.

Недостатки эти устранены въ системѣ туернаго блока бельгійскаго инженера Букье. Блокъ Букье представляетъ собою сплошной чугунный шкивъ съ шестью упругими щипцами (чер. 99), выдвигаемый на особой рамѣ за бортъ судна (чер. 100).

Цѣпь захватывается тремя щипцами блока и съ восходящей стороны направляется къ нему роликами *N*, а съ нисходящей нажимается нажимнымъ блокомъ *M*. Пальцы щипцовъ блока стягиваются между собою, посредствомъ металлическихъ пластинокъ, болтами съ каучуковыми толстыми подкладками (*Q*).

Рама, поддерживающая (чер. 100) блокъ, передвигается по рельсамъ посредствомъ рукоятки *J*; при нѣкоторомъ сдвиженіи ея внутрь судна, блокъ разобщается съ рабочимъ валомъ, перестаетъ вращаться и цѣпь съ него можетъ быть удобно скинута; за симъ рама можетъ быть совсѣмъ задвинута внутрь судна.

Система Букке дѣлаетъ возможнымъ движеніе встрѣчныхъ тугеровъ по одной и той-же цѣпи, причемъ, очевидно, одинъ изъ встрѣчныхъ тугеровъ для пропуска другого долженъ скинуть съ себя цѣпь.

Цѣпь, для возможности свободнаго наложенія ея на блокъ тугера, должна, очевидно, имѣть длину большую разстоянія между якорями по оси ходовой полосы на нѣкоторую величину, зависящую отъ возвышенія блока надъ дномъ водяного пути т. е. отъ глубины водяного пути; въ обыкновенныхъ условіяхъ примѣненія тугерной тяги, на не глубокихъ рѣкахъ и каналахъ, длина цѣпи дѣлается на 10% болѣе разстоянія между якорями по оси ходовой полосы.

Иногда вмѣсто цѣпи употребляется проволочный канатъ; въ такомъ случаѣ примѣняется блокъ Фаулера, показанный на чер. 101, съ двумя нажимными блоками и тугеръ имѣеть видъ показанный на чер. 102.

Сравнительныя достоинства цѣпи и проволочнаго каната въ примѣненіи къ тугерной тягѣ не вполне еще выяснены; но хорошую цѣпь можно предпочитать проволочному канату вслѣдствіе большей ея прочности въ тугерной работѣ и большаго удобства ремонта.

Суда прирягаются къ тугеру на буксирахъ одно за другимъ въ разстояніи около 10 саж. одно отъ другого. Въ случаѣ, если тугерная тяга производится внизъ по теченію, то для устраненія чрезмѣрнаго возрастанія скорости хода и несчастныхъ случайностей отъ внезапной остановки тугера, примѣняется тормазное судно. Судно это (чер. 103) прирягается буксиромъ къ послѣднему судну тугернаго воза и имѣеть шкивь, сообщенный особымъ приводомъ съ коническимъ регуляторомъ, который въ свою очередь сообщается приводомъ съ нажимнымъ блокомъ: на шкивь накладывается тугерная цѣпь и, при движеніи тугернаго воза, шкивь и вмѣстѣ съ нимъ коническій регуляторъ приходятъ во вращательное движеніе; если скорость хода тугернаго воза и скорость вращенія регулятора заходятъ за извѣстный предѣлъ, то регуляторъ отпускаетъ нажимный блокъ и блокъ нажимаетъ цѣпь къ шкиву съ такою силою, что движеніе тормазнаго судна и всего тугернаго воза останавливается.

Для опредѣленія работы машины тугера предположимъ, что сопротивленіе движенію всего тугернаго воза есть  $F$ , что возвышеніе первой точки касанія цѣпи къ тугерному блоку  $b$  надъ дномъ водяного пути есть  $h$ , что вѣсъ единицы длины цѣпи есть  $p$  и что цѣпь,

подымаемая твернымъ блокомъ, отдѣляется отъ дна водяного пути въ точкѣ *a* (чер. 104). При такихъ предположеніяхъ, по свойствамъ цѣпной линіи, будемъ имѣть:

Горизонтальное натяженіе цѣпи въ точкѣ *a*

$$F = pm.$$

Длина цѣпной дуги *ab*

$$S = \sqrt{(h + m)^2 - m^2}$$

Вѣсъ цѣпной дуги *S*

$$Q = pS = p\sqrt{(h + m)^2 - m^2}$$

и натянутость цѣпи на блокѣ въ точкѣ *b*

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{F^2 + Q^2} = \sqrt{p^2m^2 + p^2(h + m)^2 - p^2m^2} = \\ &= \sqrt{p^2(h + m)^2} = ph + pm = ph + F. \end{aligned}$$

Если абсолютная скорость движенія твернаго вѣса есть *u*<sub>0</sub>, то, какъ показываетъ опытъ, скорость поступательнаго движенія цѣпи по блоку есть *u*<sub>1</sub>, причеиъ

$$u_0 = 0,92 u_1$$

или

$$u_1 = \frac{u_0}{0,92}.$$

Полезная работа твернаго блока поэтому будетъ

$$T_r = Ru_1 = \frac{(ph + F) u}{0,92}$$

Коэффициентъ полезной работы паровой машины твѣра, какъ показываетъ опытъ,

$$\varphi' = \text{отъ } 0,7 \text{ до } 0,85.$$

Поэтому индикаторная работа паровой машины хорошаго твѣра

$$T_{ii} = \frac{F}{\varphi'} = \frac{(ph + F) u_0}{0,85 \times 0,92} = \frac{(ph + F) u_0}{0,78}$$

Если  $p$  и  $F$  выражаются въ пудахъ, а  $h$  и  $u_0$  въ футахъ, то индикаторная работа машины туера въ паровыхъ локомотивахъ будетъ

$$N'i = \frac{(ph + F)u_0}{0,78 \times 15} = \frac{(ph + F)u_0}{11,7}$$

Изъ этого мы видимъ, что работа машины туера пропорціональна абсолютной скорости движенія туернаго воза и отъ скоростей теченія воды (попутныхъ или противныхъ) зависитъ лишь настолько, насколько отъ этихъ скоростей зависитъ сопротивленіе движенію туернаго воза  $F$ .

Для буксирнаго парохода мы имѣли

$$N'i = 0,1 u F$$

гдѣ  $u$  есть относительная скорость движенія воза, т. е.  $u = u_0 + c$  при ходѣ противъ теченія,  $u = u_0 - c$  при ходѣ по теченію и  $u = u_0$  при ходѣ въ стоячей водѣ.

Слѣдовательно для сравненія работъ парохода и туера мы можемъ написать:

1) *Въ стоячей водѣ*

$$\frac{N_i}{N'i} = \frac{0,1 u_0 F}{(ph + u_0) F} = \frac{1,17 F}{ph + 11,7}$$

Отношеніе это можетъ быть равно единицѣ, т. е. работы парохода и туера могутъ быть равны, если, при равныхъ сопротивленіяхъ воевъ ( $F$ ),  $ph = 0,17$ ; это возможно при небольшой величинѣ  $h$ , т. е. при малой глубинѣ водяного пути.

2) *Противъ теченія:*

$$\frac{N_i}{N'i} = \frac{1,17(u_0 + c)F}{(ph + F)u_0} = \frac{1,17u_0 F + cF}{u_0 F + u_0 ph} = \frac{u_0 + (0,17u_0 + 1,17c)F}{u_0 F + u_0 ph}$$

Отношеніе это больше единицы, т. е. работа парохода больше (менѣе выгодна) работы туера, если

$$(0,17 u_0 + 1,17 c)F > u_0 ph;$$

а это всегда можетъ имѣть мѣсто при болѣе или менѣе значительныхъ скоростяхъ теченія ( $c$ ).

## 3) По теченію

$$\frac{N_i}{N_i^0} = \frac{1,17(u_0 - c)F}{(ph + F)u_0} = \frac{u_0F + (0,17u_0 - 1,17c)F}{u_0F + u_0ph}$$

Отношеніе это при болѣе или менѣе значительныхъ скоростяхъ теченія меньше единицы.

Итакъ на основаніи теоретическихъ соображеній можно сказать, что работа парохода можетъ быть меньше, а слѣдовательно выгоднѣе работы туера лишь при тягѣ внизъ по теченію; въ стоячей же водѣ при малыхъ глубинахъ и противъ теченія работа туера меньше, а слѣдовательно выгоднѣе работы парохода.

Неудобства туерной тяги заключаются во 1-хъ въ необходимости какъ первоначальной довольно значительной затраты на продолженіе цѣпи, такъ и послѣдующихъ расходовъ на ея ремонтное содержаніе; во 2-хъ въ томъ, что въ рѣкахъ, несущихъ значительныя количества наносовъ, цѣпь закрывается илп, и туерь, при подъемѣ ея, расходуетъ силу гораздо большую той, которая исчисляется теоретически.

Во всякомъ случаѣ, принимая во вниманіе потребныя расходы на устройство и эксплуатацію туерной тяги, сравнительно съ пароходною, и мѣстныя условія, всегда можно выяснитъ, чему слѣдуетъ отдать предпочтеніе: пароходу или туеру.

Когда же тяга грузовъ должна производиться противъ сильнаго теченія, выборъ туера дѣлается неизбѣжнымъ.

На путяхъ глубокихъ, подверженныхъ сильному волненію, какъ напримѣръ на озерахъ, а также вообще для быстрой перевозки цѣпныхъ грузовъ, ни туерная, ни буксирная тяга не представляются удобными; въ сихъ случаяхъ употребляются грузовые пароходы, т. е. отдѣльныя грузовыя суда, хорошей конструкціи, снабженныя описанными паровыми гребными приспособленіями, рассчитанными на большую скорость хода (до 20 верстъ въ часъ).

## О П Е Ч А Т К И,

замѣченныя въ 1-мъ выпускѣ курса внутреннихъ водяныхъ сообщеній.

Стр. и Строчки.	Напечатано:	Слѣдуетъ:
21 8 снизу	выступающія	выступающія
24 15 "	$-2x(x^2 + nr^2)$	$-2x(x^2 + n^2r^2)$
24 12 "	$8\alpha xnr[U - \alpha a^2 - \alpha nr^2] =$ $= 8\alpha nrx[V_x - nr^2]$	$8\alpha xnr[U - \alpha a^2 - \alpha n^2r^2] =$ $= 8\alpha nrx[V_x - \alpha n^2r^2]$
24 8 "	$\frac{4k \gamma \delta \sqrt{hi} r^2 n^2}{2gh^2}$	$\frac{4k \gamma \delta \pi \sqrt{hi} r^4 n^2}{2gh^2}$
25 9 и 4 "	$1 - \left(\frac{nr}{h}\right)^2$	$1 + \left(\frac{nr}{h}\right)^2$
25 1 "	$\frac{4K \gamma \delta \pi r^3 n^2 V_h}{2gh}$	$\frac{4K \gamma \delta \pi r^3 n^2 V_h^2}{2gh(\varphi - K)}$
37 5 "	собрать	собрать
45 2 "	и грузовой	у грузовой
46 3 сверху	шпангоушовъ	шпангоутовъ.
46 9 "	устойчивостью	остойчивостью
46 19 "	имѣть.	имѣть:
48 12 снизу	$\varphi l L H - p$	$\varphi l L H \delta - p$
51 11 "	$f' a' d'$	$f a' d'$
51 9 и 7 "	об. $f a f'$	об. $f a' f'$
51 3 "	$V(ko + k'o) = v' k' k$	$v(ko + k'o) = v k' k$
51 2 "	оттуда	откуда
52 8 сверху	$\frac{y^2 \alpha}{8} \cdot 4 Z$	$\frac{y^2 \alpha}{8} \cdot 4 Z$
52 10 "	$2ck = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{y}{2}$	$2ck = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{y}{2}$
54 4 "	крана	крана

## II

Строчк.	Строки.	Напечатано:	Следует:
56	3 снизу	$S_0$	$S_0'$
60	6 сверху	$\varphi^1$	$\varphi_1$
61	3 снизу	$\frac{H(1+n_1^2)\varphi^1\omega}{g(\varphi^1 n_1^2 - 12\varphi n_1)}$	$\frac{H(1+n_1^2)\varphi_1\omega}{g(\varphi^1 n_1^2 - 12\varphi n_1)}$
62	6 "	абсолютная	абсолютная
69	12 "	$\Sigma_N^P$	$\Sigma_N^P$
76	7 "	$K^1$	$K'$
76	5 "	$\frac{K^1 \delta \gamma^2}{64g} \gamma HL^4$	$\frac{K^1 \delta \gamma^2}{64g} \lambda HL^4$
101	7 "	(Чер. 88)	(Чер. 85)
103	3 сверху	канату;	канату,
106	21 "	лапатки	лопатки
106	24 "	(Чер. 92)	(Чер. 91)
107	6 "	а изливается	изливается
108	4 "	$\frac{K' \delta a [(u_0 \pm c)]^2}{2g}$	$\frac{K' \delta a [v - (u_0 \pm c)]^2}{2g}$
108	1 снизу	$\beta$	$\delta$
111	17 сверху	кабестанской	кабестанной
114	6 снизу	$\frac{(ph + F)u}{0,92}$	$\frac{(ph + F)u_0}{0,92}$
114	1 "	$\frac{F}{\varphi^1}$	$\frac{F'}{\varphi^1}$
115	12 "	$\frac{0,1 u_0 F}{(ph + u)_0} = \frac{1,17 F}{ph}$	$\frac{0,1 u_0 F'}{(ph + F')u_0} = \frac{1,17 F'}{ph + F'}$
115	9 "	0,17	0,17 F'
115	6 "	$\frac{1,17 u_0 F + cF}{u_0 F + u_0 ph} = \frac{u_0 + (0,17 u_0 + 1,17 c) F}{u_0 F + u_0 ph}$	$\frac{1,17 (u_0 F' + cF)}{u_0 F' + u_0 ph} = \frac{u_0 F' + (0,17 u_0 + 1,17 c) F'}{u_0 F' + u_0 ph}$

Р. И. Рунебергъ.

**О ПАРОВОДАХЪ**  
ДЛЯ ЗИМНЯГО ПЛАВАНІЯ  
И  
**О ЛЕДОКОЛАХЪ.**

ПЕРЕВЕЛЪ СЪ АНГЛІЙСКАГО И ДОПОЛНИЛЪ

**А. НЮБЕРГЪ**

ИНЖЕНЕРЪ ЦУТЕЙ СООБЩЕНІЯ.

СЪ 3 ЛИСТАМИ ЧЕРТЕЖЕЙ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

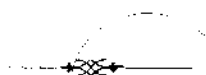
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, 9

1890.

Печатано по распоряженію Института инженеровъ путей сообщенія  
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I.

# О Г Л А В Л Е Н І Е.

	Стр.
Предисловіе . . . . .	1
О пароходахъ для зимняго плаванія и о ледоколахъ . . . . .	3
Два усилія, второстепеннаго значенія, проявляющіяся при ударѣ судна о ледъ . . . . .	16
Перемѣщеніе метацентра . . . . .	21
Детали устройства . . . . .	22
Описаніе нѣкоторыхъ существующихъ ледоколовъ и пароходовъ для зимняго плаванія . . . . .	27



## ПОПРАВКА.

Въ настоящей статьѣ вкралась слѣдующая ошибка: на стр. 12, 33 и на черт. 16 табл. 3 мѣсто слова „Murtaja“ слѣдуетъ читать „заказанный Финляндскимъ правительствомъ“ и къ выноскѣ на стр. 33 слѣдуетъ прибавить, что ледоколъ „Murtaja“ заказанный окончательно на Бергзундскомъ заводѣ, исполненъ не по чертежамъ Г. Рунеберга, а по чертежамъ изготовленнымъ на самомъ заводѣ; пароходъ, товаро-пассажирскій, проектированный Г. Рунебергомъ остался неисполненнымъ.

*А. Нюбергъ.*

## ПРЕДИСЛОВІЕ.

---

Статья инженера Рунеберга „О пароходахъ для зимняго плаванія и о ледоколахъ“ \*) напечатанная въ „Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers“ 1888—1889 vol. XCVII part. III и отдѣльный оттискъ съ которой обязательно присланъ мнѣ авторомъ, удостоена, по присужденію Англійскимъ инженернымъ обществомъ Уаттской золотой медали и Тельфордской денежной преміи.

Въ виду возникающей потребности и у насъ поддерживать въ портахъ судоходство, хотя не въ теченіи всей зимы, такъ по крайней мѣрѣ сколь возможно долже послѣ наступленія морозовъ и покрытія воды льдомъ и для каковой цѣли заказанъ теперь ледоколъ для Николаева, не безынтересно сдѣлать трудъ г. Рунеберга общедоступнымъ для русской публики техническаго міра, такъ какъ въ немъ указываются на, какъ мнѣ кажется, весьма существенныя особенности ледоколовъ и пароходовъ для зимняго плаванія, какъ въ отношеніи ихъ дѣйствія, такъ и въ отношеніи детальнаго ихъ устройства.

Нѣкоторыя детали въ конструкціи этихъ судовъ заслуживаютъ особаго вниманія и потому рѣшаюсь, съ разрѣшенія автора, опубликовать настоящій трудъ.

*А. Нюбергъ.*

---

\*) On Steamers for winter navigation and ice-breaking, by Rob. Runeberg. Assoc. M. Inst. E. E. 1888—1889.

## О пароходахъ для зимняго плаванія и о ледоколахъ.

Ледъ встрѣчающійся въ Балтійскомъ морѣ имѣеть весьма различныя виды. Когда поверхность воды моря охлаждается до нѣсколькихъ градусовъ ниже точки замерзанія, то начинается образованіе льда частями, но вода въ открытомъ морѣ находится почти всегда въ движеніи, такъ что льду нѣтъ возможности образоваться большими площадями; а онъ образуется лишь отдѣльными, круглой формы лепешками, извѣстными въ Швеціи подъ названіемъ „Tallriksis“ (Тарелочнаго льда).

Если этотъ ледъ встрѣчается въ открытомъ морѣ, то онъ не представляетъ большаго препятствія судоходству, если же скопляется, подъ дѣйствіемъ вѣтра, большими массами у берега и покрывается при этомъ слоемъ снѣга, то смерзая, образуется конгломератъ снѣга и льда, слоемъ толщиною, доходящею иногда до нѣсколькихъ сажень, блокируя порты и заливы, и суда, находящіяся случайно въ этихъ мѣстахъ.

Другой видъ льда въ Балтійскомъ морѣ, который неоднократно замѣчаемъ былъ авторомъ сей статьи, преимущественно въ началѣ февраля мѣсяца, состоитъ изъ множества мелкихъ ледяныхъ горъ, поднимающихся отъ 2-хъ до 3-хъ футовъ выше уровня воды и погруженные въ глубь отъ 7 до 8 футовъ. Онѣ состоятъ изъ чистаго прозрачнаго льда и достаточно велики чтобы, до нѣкоторой степени, останавливать ходъ парохода средней величины, причиняя ему довольно значительную качку, при каждомъ ударѣ. Позже, зимою, встрѣчается еще третій видъ льда, это ледъ нанесенный рѣками, или оторванный отъ берега, дѣйствіемъ волненія и вѣтра, и уносимый въ море, иногда громадными массами покрываютъ поверхность воды въ нѣсколько квадратныхъ верствъ. Ледъ нагромождается медленно, но невозмутимо у всякаго препятствія, какъ-то у скаль и острововъ, перелѣзая черезъ нихъ, хотя бы они возвышались на

20 футовъ и болѣе надъ уровнемъ воды, или онъ накапливается по берегамъ, образуя валъ высотой въ нѣсколько сажень.

Плавать среди наноснаго льда вообще не привлекательно, но оно становится даже опаснымъ, если ледъ несется къ берегу, или, если судно очутится между двумя массами наноснаго льда, имѣющими стремленіе приблизиться другъ къ другу.

Если при тихой погодѣ происходитъ пониженіе температуры, то на поверхности воды, образуется сплошной ледъ, прозрачный какъ хрусталь, ясно отдѣляющійся отъ воды, покрывая громадные пространства. Въ одну морозную ночь, ледъ получаетъ крѣпкость достаточную для удержанія человѣка, въ теченіи же нѣсколькихъ ночей, онъ до того крѣпчаетъ, что можетъ нести безопасно лошадь и сани. Кажется что толщина, такимъ образомъ образовавшагося, льда въ Балтійскомъ морѣ, во время безснѣжной зимы, не превышаетъ  $2\frac{1}{2}$  футовъ, въ нѣкоторыхъ же исключительныхъ случаяхъ можетъ достигнуть 3-хъ футовъ. Обыкновенная же толщина льда бываетъ отъ 18 до 24 дюймовъ, а въ нѣкоторыхъ мѣстахъ она не превышаетъ и 12 дюймовъ.

Въ болѣе открытыхъ портахъ и, находящихся подъ дѣйствіемъ морскаго волненія мѣстахъ, толщина льда еще меньше.

Немедленно послѣ образованія льда, онъ обыкновенно покрывается слоемъ снѣга, который будучи мало теплопроводимъ, не даетъ льду сильно утолщаться.

При низкой температурѣ, состояніе атмосферы бываетъ обыкновенно спокойно, это не есть впрочемъ *общее, постоянное* явленіе; бываеетъ иногда, что низкая температура атмосферы сопровождается сильными вѣтрами и въ такихъ случаяхъ, волны обливая корабль, оставляютъ на немъ часть воды, которая, замерзая почти мгновенно, покрываетъ его сплошнымъ слоемъ льда. Брызги и пѣна поднимаясь вверхъ обледеняютъ снасти и масса льда все болѣе и болѣе увеличивается, еще и тѣмъ, что вода обливая палубу удерживается бортовыми (ватервейсомъ) и люковыми брусьями, ютами и рубками и не имѣетъ свободнаго стока чрезъ заледенѣвшіе пнигаты и другіе, имѣющіяся на суднѣ, выпуски для воды.

Положеніе судна, при такихъ условіяхъ, становится весьма опаснымъ, если очертаніе и общее устройство его вообще не соотвѣтствуетъ плаванію въ бурю зимою. Люди напрасно будутъ стараться окалывать ледъ и отчищать отъ него палубу судна, каждая новал

волна, покрывает снова палубу свѣжимъ льдомъ и послѣдній увеличиваясь постепенно въ толщину, увеличиваетъ быстро вѣсь судна, которое погружаясь все болѣе и болѣе въ воду подъ этою тяжестью, обращается къ концу концовъ въ совершенно безпомощную ледяную массу, подверженную полному дѣйствию свирѣпыхъ волнъ и вѣтра и обреченную на вѣрную, неминуемую гибель.

Тяжело нагруженные парусныя суда и пароходы, со сплошными фальшбортами и тяжелымъ ходомъ, подвергались часто печальнымъ опытамъ при плаваніи въ сѣверныхъ моряхъ, позднюю осенью и зимою, почему, по справедливости, такое плаваніе признается весьма рискованнымъ и опаснымъ.

Особенно устроенные пароходы, показали однако, что есть возможность поддерживать на сѣверѣ судоходство въ теченіи большей части года, съ относительною безопасностью.

Вопросъ объ устройствѣ пароходовъ, способныхъ къ плаванію зимою и къ несенію службы ледоколовъ, имѣетъ поэтому большое, весьма важное, значеніе.

До разбора вопроса о детальномъ устройствѣ судна для сказанной цѣли, необходимо указать на то, какимъ образомъ ломка льда можетъ быть совершаема и опредѣлить расчетомъ, на сколько это возможно, какой толщины ледъ можетъ быть разбиваемъ пароходомъ данной силы.

Слѣдующій расчетъ слѣдуетъ разсматривать лишь какъ приближительный, ибо нѣкоторыя обстоятельства, могущія оказать влияние на результатъ, пренебрегаются и коэффициенты, основанные, къ сожалѣнію, на весьма немногочисленныхъ и неточныхъ опытахъ, даютъ результаты лишь приближительные.

Эти расчеты могутъ однако дать нѣкоторую пользу, до выработки болѣе точныхъ формулъ. Кораблестроителю приходится и теперь, къ сожалѣнію, удовлетвориться лишь приближительными правилами, даже и при болѣе важныхъ расчетахъ, чѣмъ при настоящихъ.

Существуетъ два способа, посредствомъ которыхъ ломка льда можетъ быть совершаема, а именно: непрерывнымъ натискомъ носа корабля, при ровномъ его ходѣ, или, если ледъ слишкомъ толстъ, для того чтобы быть разбитымъ этимъ способомъ, то давши задній ходъ, дѣйствуютъ ударомъ. Носъ судна поднимается при этомъ до нѣкоторой высоты, и производитъ, въ обоихъ случаяхъ, давленіе нормальное къ поверхности соприкасанія судна со льдомъ. Предпо-

лагаю это усиліе разложеннымъ по двумъ направленіямъ: по горизонтальному, параллельно льду и по вертикальному, первое усиліе, стремящееся разбить ледъ, по сравненію со вторымъ, дѣйствующему сверху внизъ, разламывая его, столь мало, что можетъ быть пренебрегаемо. Для полученія наиболѣе полезнаго дѣйствія ледокола, необходимо увеличать по возможности вертикальную составляющую силу, что можетъ быть достигнуто болѣе пологимъ очертаніемъ форштевня, у ватерлиніи (у поверхности воды).

Названья:

- черезъ  $V$ —вертикальное усиліе, дѣйствующее на носъ судна,  
 „  $Q$ —давленіе дѣйствующее нормально къ баттоксамъ судна\*),  
 „  $N$ —полное вертикальное давленіе на обшивку носовой части судна (по  $\frac{N}{2}$  на каждой сторонѣ форштевня),  
 „  $R$ —горизонтальный напоръ судна,  
 „  $P$ —ходъ гребнаго винта, въ футахъ,  
 „  $N_0$ —число оборотовъ винта, или ударовъ поршня, въ минуту,  
 „  $p$ —среднее давленіе пара въ англ. футахъ на всю площадь поршня,  
 „  $S$ —длину хода поршня въ футахъ,  
 „  $D$ —полное водовзмѣщеніе судна,  
 „  $D_1$ —водовзмѣщеніе судна, когда носъ поддерживается льдомъ,  
 „  $B$ —ширину судна въ футахъ,  
 „  $A$ —площадь ватерлиніи,  
 „  $i$ —разстояніе отъ передняго перпендикуляра до центра тяжести площади судна, по ватерлиніи,  
 „  $d$ —разстояніе отъ точки приложенія силы  $V$  до того же центра тяжести,  
 „  $GM$ —разстояніе между центромъ тяжести судна и продольнымъ метацентромъ,  
 „  $C$ —постоянную величину,  
 „  $\delta$ —среднее уменьшеніе осадки въ футахъ,  
 „  $\Delta$ —полное поднятіе носа судна въ футахъ,  
 „  $j$ —вѣсъ одного кубическаго фута воды,

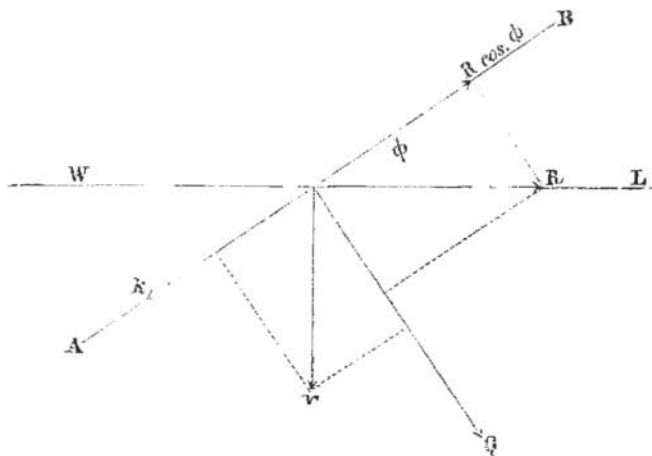
\*) Баттоксами называются кривыя пересѣченій вертикальныхъ плоскостей параллельныхъ діаметральной плоскости судна, съ кривою его поверхностью.

- черезъ  $g$ —ускореніе силы тяжести,  
 „  $f$ —коэффициентъ тренія,  
 „  $\varphi$ —уголь между среднимъ наклоненіемъ баттоковъ и по-  
 верхности воды,  
 „  $\beta$ —уголь между уровнемъ воды и среднимъ наклоненіемъ стѣ-  
 ченій взятыхъ перпендикулярно къ баттокамъ,  
 „  $\theta$ —уголь продольнаго наклоненія судна.  
 „  $l$ —толщину льда, въ дюймахъ,  
 „  $v$ —скорость хода судна, въ футахъ въ 1 секунду.  
 „  $W$ —работу соответствующую потерѣ живой силы,  
 „  $F$ —работу тренія,  
 „  $W_1$ —полную работу машинъ и  
 „  $F_1$ —сумму работъ треній, вызванныхъ измѣненіемъ направле-  
 нія движенія судна.

Въ отношеніи перваго предположенія, т. е. непрерывнаго хода парохода—будемъ имѣть:

Полагая, что толщина льда только достаточна для сопротивленія напору парохода, производящаго одно давленіе, безъ удара.

Если  $AB$  (фиг. 1) представляетъ среднее наклоненіе форштевня,



Фиг. 1.

то горизонтальный напоръ  $R$ , вызванный дѣйствіемъ винта, будетъ стремиться подвинуть корабль, скользя по поверхности  $AB$ , до тѣхъ поръ, пока не установится равновѣсіе, т. е. до тѣхъ поръ пока со-

противляющееся усилие, которое назовемъ черезъ  $K$  не будетъ равно  $R \cos \varphi$ . Провода  $V$  перпендикулярно поверхности воды и  $Q$  перпендикулярно  $AB$ , и далѣе, если  $N$  есть полное давленіе дѣйствующее на ледъ, перпендикулярно къ плоскости сопрякосновенія обшивки носа судна со льдомъ и  $f$ —коэффициентъ тренія, то:

$$K = V \sin \varphi - f N,$$

откуда въ моментъ равновѣсія, т. е. когда

$$K = R \cos \varphi.$$

получимъ:

$$V = \frac{R \cos \varphi - f N}{\sin \varphi}.$$

Для преодоленія величины  $R$ , воспользуемся опытами Фрауда (Fraude) надъ сопротивленіемъ судовъ, въ которыхъ указанное дѣйствіе судна (напоръ при ровномъ ходѣ) распадается на шесть слѣдующихъ элементовъ:

- 1) Полезное дѣйствіе судна, или собственное его сопротивленіе.
- 2) Ускореніе въ движеніи, вызываемое дѣйствіемъ гребнаго вѣнта.
- 3) Треніе лопастей вѣнта о поверхность воды.
- 4) Треніе въ машинѣ, при тихомъ ея ходѣ.
- 5) Треніе машины, при полномъ ея ходѣ.
- 6) Сопротивленіе вызываемое воздушными и питательными насосами.

Если судно дѣйствуетъ при полной силѣ машины (полнымъ ходомъ) на неподвижный предметъ, какъ напримѣръ на ледъ значительной толщины, то послѣдніе 5 элементовъ остаются практически безъ измѣненія. Собственное сопротивленіе судна, напротивъ, превращается въ нуль и на его мѣсто является напоръ, названный вышебуквою  $R$ .

Величину перваго элемента, Фраудъ опредѣляетъ слѣдующимъ образомъ:

Если  $P$ —есть ходъ вѣнта въ футахъ,  $N_0$ —число оборотовъ въ минуту,  $p$ —среднее давленіе въ англ. фунтахъ на всю площадь поршня,  $S$ —длина хода поршня и  $IHP$ —индикаторная сила машины, то собственное сопротивленіе корабля составляетъ 37,5% отъ индикаторной силы машины, а потому:

$$R = \frac{37,5}{100} \times \frac{IHP \times 33000}{P \cdot N_0} = \frac{12,375 IHP}{P \cdot N_0}.$$

но вмѣсто  $IHP$ , можно поставить равную ему величину:

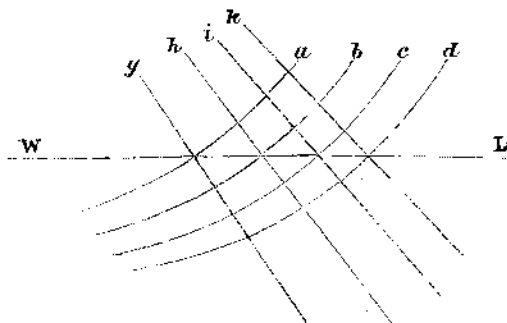
$$\frac{p. 2. S N_0}{33000},$$

а потому

$$R = \frac{0,75 p. S}{P}.$$

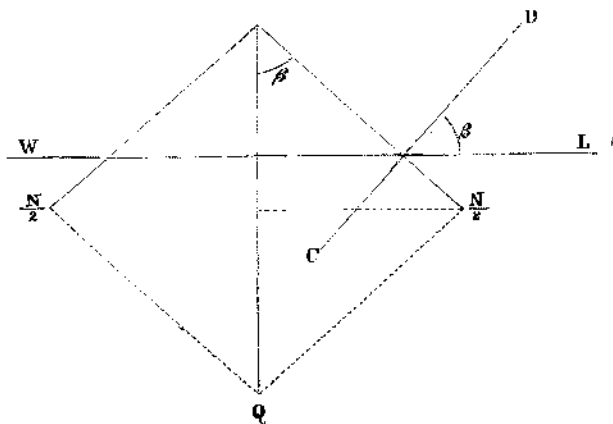
Нормальное къ баттокамъ давленіе  $N$ , можетъ быть приблизительно опредѣлено слѣдующимъ образомъ.

Если  $a, b, c$  и  $d$  (фиг. 2) представляютъ очертаніи различныхъ баттоковъ, и если провести линіи  $y, h, i$  и  $k$  нормально къ этимъ кривымъ, въ точкахъ пересѣченій ихъ съ поверхностью воды и представить сѣченія судна плоскостями



Фиг. 2.

проходящими черезъ эти линіи, перпендикулярно діаметральной, вертикальной плоскости судна; если дальѣ, взять среднее наклоненіе боко-



Фиг. 3.

выхъ поверхностей судна въ этихъ плоскостяхъ, то полагая что  $CD$  есть это среднее наклоненіе бока судна (фиг. 3), то давленіе на каждой

сторонѣ будетъ по  $\frac{N}{2}$ , лежащая въ одной плоскости съ нормальнымъ давленіемъ  $Q$  на баттоксы, а потому:

$$\frac{Q}{2} = \frac{N}{2} \cos \beta; \quad \text{или } N = \frac{Q}{\cos \beta}.$$

Обращаясь къ фиг. 1 получимъ

$$Q = R \sin \varphi + V \cos \varphi,$$

а потому:

$$N = \frac{R \sin \varphi + V \cos \varphi}{\cos \beta}.$$

Вставляя выраженія для  $R$  и  $N$  въ выраженіе для  $V$  получимъ:

$$V = \frac{0,75 p \cdot S \cos \varphi}{P \cdot \sin \varphi} - \frac{0,75 f p \cdot S \sin \varphi}{P \sin \varphi \cos \beta} - \frac{f V \cos \varphi}{\sin \varphi \cos \beta}.$$

Откуда:

$$V = \frac{0,75 p \cdot S (\cos \varphi \cos \beta - f \sin \varphi)}{P (\sin \varphi \cos \beta + f \cos \varphi)} \dots \dots (1)$$

или подставляя вмѣсто  $p \cdot S$ , равную величинѣ  $\frac{IHP 33000}{2 N_0}$ , получимъ окончательно:

$$V = \frac{12,375 IHP (\cos \varphi \cos \beta - f \sin \varphi)}{N_0 P (\sin \varphi \cos \beta + f \cos \varphi)} \dots \dots (2)$$

Это выраженіе виртикальнаго давленія вызываетъ сопротивленіе льда, которое будетъ пропорціонально квадрату толщины и нѣкоторой функціи отъ  $B$  (отъ ширины судна), т. е.

$$V = ct^2 \mathcal{F}(B),$$

въ которой  $c$ —есть постоянная величина,  $t$ —толщина льда и  $B$ —ширина судна.

Отсюда:

$$t = c \sqrt{\frac{V}{\mathcal{F}(B)}}.$$

Сравнивая дѣйствіе существующихъ ледоколовъ, имѣемъ:

$$\mathcal{F}(B) = \sqrt{B}$$

и  $c = 0,18$  для осеняго льда. Полагая эти послѣднія выраженія вѣрными, получимъ слѣдующую окончательную зависимость между вертикальнымъ усиленіемъ  $V$ , шириною судна  $B$  и толщиной льда  $t$ ,

$$t = 0,18 \sqrt{\frac{\bar{V}}{\sqrt{B}}} \dots \dots \dots (3)$$

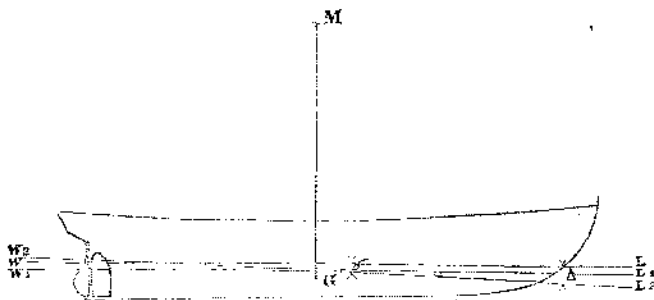
Коэффициентъ тренія  $f$ , входящій въ  $V$ , выведенное выше, можно принять  $= 0,05$ .

Имѣя величину  $V$ , можно приблизительно опредѣлить высоту на которую носъ судна будетъ поднятъ. Этотъ подъемъ вызывается уменьшеніемъ средней осадки судна, происходящее отъ силы, дѣйствующей снизу вверхъ, равной вертикальному давленію  $V$ . Это уменьшеніе средней осадки, названное выше буквою  $\delta$ , получится, если вертикальное усиленіе  $V$  раздѣлять на полную площадь ватерлинія, умноженную на вѣсъ 1-го кубическаго фута воды, т. е.

$$\delta = \frac{V}{A_j}$$

въ которой значеніе буквъ приведено выше.

Обращаясь далѣе къ фиг. 4 и сохраняя всѣ вышеприведенныя



Фиг. 4.

обозначенія, и полагая далѣе, что усиленіе  $V$  дѣйствующее вверхъ, приложено къ центру тяжести судна, то ватерлинія  $WL$  перемѣстится въ  $W_1 L_1$  въ разстояніи другъ отъ друга на:

$$\delta = \frac{V}{A_j}$$

Если усилие  $V$  перемѣститъ къ носу судна, на разстояніе  $d$ , то положеніе судна будетъ другое и моментъ  $Vd$  будетъ равенъ моменту клинообразнаго объема воды между ватерлиніями  $WL$  и  $W_2L_2$  или

$$Vd = D \times GM \tan \theta.$$

откуда:

$$\tan \theta = \frac{Vd}{D \cdot GM},$$

но:

$$\Delta = \delta + l \tan \theta = \delta + \frac{l V d}{D \times GM}$$

или

$$\Delta = \frac{V}{A_j} + \frac{l V d}{D \times GM} \dots \dots \dots (4)$$

Слѣдующая таблица дастъ исчисленныя величины для  $V$ ,  $t$  и  $\Delta$  для нѣкоторыхъ ледоколовъ, эти цифры достаточно близко подходятъ къ дѣйствительнымъ, для приведенныхъ судовъ:

Элементы разсета и раз- мѣры судовъ.	Название судовъ.	Express.	Jobytaren.	Oland.	Bryderen.	Em. Z Switzer.	Starkodder.	Murtaja.	Заказы для Пингаева.
1) Вертикальное усиліе $V$ въ англ. фунтахъ . . .		3,780	9,263	5,408	10,720	7,378	11,400	11,930	—
2) Толщина льда $t$ въ дюймахъ ( $''$ ) . . . . .		5,10	7,02	6,00	7,84	6,92	8,39	8,62	—
3) Полное поднятія носа судна $\Delta$ въ дюймахъ ( $''$ ) . . . . .		1,84	2,93	3,74	3,00	2,63	3,00	2,83	—
4) Длина между перпендикулярами $l$ въ фут. и дюймахъ ( $'$ и $''$ ) . . . . .		130 $\frac{1}{100}$	111 $\frac{1}{3}$	95 $\frac{1}{6}$	124 $\frac{1}{100}$	131 $\frac{1}{100}$	151 $\frac{1}{2}$	163 $\frac{1}{100}$	135
5) Ширина по грузовой ватерлинии $B$ въ фут. и дюйм. ( $'$ и $''$ ) . . . . .		22 $\frac{1}{6}$	33 $\frac{1}{3}$	22 $\frac{1}{3}$	32 $\frac{1}{100}$	25 $\frac{1}{100}$	27 $\frac{1}{100}$	27 $\frac{1}{100}$	34 $\frac{1}{100}$
6) Осадка $h$ въ футахъ и дюймахъ ( $'$ и $''$ ) . . . . .		11 $\frac{1}{6}$	12 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{10}$	13 $\frac{1}{10}$	9 $\frac{1}{8}$	10 $\frac{1}{6}$	13 $\frac{1}{10}$	13 $\frac{1}{10}$ *)
7) Водоизмѣщеніе $D$ въ тоннахъ . . . . .		453	530	132	649	459	612	846	—
8) Индикаторная сила машины $IHP$ въ паров. лоп. силъ . . . . .		400	700	290	900	800	900	650	700

\*) Съ балластомъ въ 35 т. глубина осадки  $h = 16$  фут.

Въ отношеніе втораго предположенія, т. е. когда ледоколъ дѣйствуетъ ударомъ, будемъ имѣть:

Пароходъ, движущійся со скоростью  $v$ , приобретаетъ живую силу, выражающуюся произведеніемъ изъ водоизмѣненія на квадратъ скорости, дѣленное на удвоенное ускореніе силы тяжести, а потому:

$$M = \frac{D \cdot v^2}{2g},$$

полагая теперь что скорость судна остановлено льдомъ, то ударъ на ледъ будетъ выражаться такою же формулою, т. е.

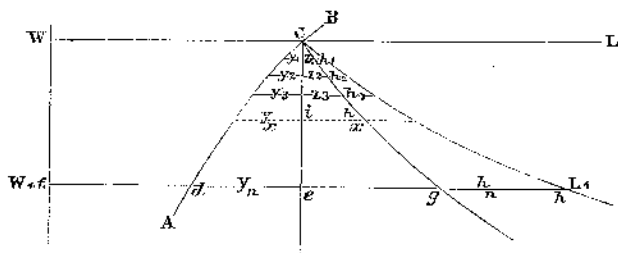
$$W = \frac{D \cdot v^2}{2g}.$$

Эта работа израсходуется на:

1) Подъемъ судна.

и 2) Преодоленіе работы тренія при входѣ судна носомъ на ледъ.

Положимъ кривая  $AB$  (фиг. 5) представляетъ кривую водоизмѣненія судна; проводя отъ точки  $C$  (пересѣченіе линіи  $AB$  съ по-



Фиг. 5.

верхностью воды, при полномъ грузѣ) линію  $Ce$  перпендикулярно къ  $WL$ , тогда линія  $AB$  въ отношеніи къ  $Ce$  представляетъ кривую потерь водоизмѣненія, при различныхъ осадкахъ.

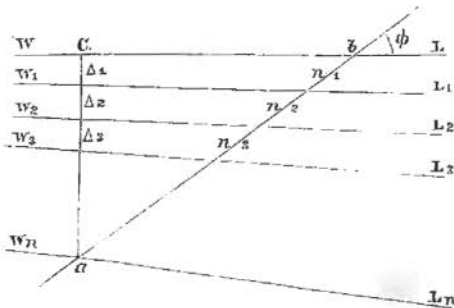
Если  $fd$  представляетъ водоизмѣненіе судна при ватерлиніи  $W_1L_1$ , то  $de$  представляетъ потерю водоизмѣненія при подъемѣ судна отъ  $WL$  до  $W_1L_1$ , и площадь  $eCd$  представляетъ работу при подъемѣ судна на высоту  $Ce$ .

Раздѣляя линію  $Ce$  на нѣсколько равныхъ частей, то ординаты  $y_1, y_2, y_3, \dots$  представляютъ сумму потерь водоизмѣненія, а слѣ-

довательно представляют и вертикальныя давленія, дѣйствующія судномъ на ледъ, при различныхъ осадкахъ.

Полагаемъ далѣе, что  $ab$  (фиг. 6) есть среднее наклоненіе баттоковъ, образующее съ уровнемъ воды уголъ  $\varphi$ .

Давленія  $y, y_1, y_2, \dots$  образуютъ постепенно новыя ватерлиніи



Фиг. 6.

$W_1 L_1, W_2 L_2, W_3 L_3, \dots$  (фиг. 6) и соответствующія нормальныя къ баттокамъ давленія  $N_1, N_2, N_3, \dots$ . Раздѣляя затѣмъ линію  $ab$  на нѣсколько частей  $n_1, n_2, n_3, \dots$  можно принять, что въ предѣлахъ каждой изъ этихъ частей, нормальное давленіе  $N$  остается постояннымъ, а потому пол-

ная работа тренія можетъ быть выражена слѣдующимъ образомъ:

$$F = f(n_1 N_1 + n_2 N_2 + n_3 N_3 + \dots)$$

полагая далѣе, что углы  $\beta$  и  $\varphi$  остаются постоянными для всѣхъ ватерлиній, то каждое изъ нормальныхъ давленій можетъ быть замѣняемо выраженіями:

$$\frac{Q_1}{\cos \beta}, \quad \frac{Q_2}{\cos \beta}, \quad \frac{Q_3}{\cos \beta} \dots \quad (\text{см. фиг. 3})$$

и вмѣсто  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$  можно поставить равныя имъ величины:

$$V_1 \cos \varphi, \quad V_2 \cos \varphi, \quad V_3 \cos \varphi, \dots \quad (\text{см. фиг. 1}),$$

но:

$$V_1 = y_1, \quad V_2 = y_2, \quad V_3 = y_3, \dots$$

а потому:

$$N_1 = y_1 \frac{\cos \varphi}{\cos \beta}, \quad N_2 = y_2 \frac{\cos \varphi}{\cos \beta}, \quad N_3 = y_3 \frac{\cos \varphi}{\cos \beta} \dots$$

а также:

$$n_1 = \frac{\Delta_1}{\sin \varphi}, \quad n_2 = \frac{\Delta_2}{\sin \varphi}, \quad n_3 = \frac{\Delta_3}{\sin \varphi} \dots$$

и

$$\Delta_1 = x_1 + \frac{ly_1 d}{D \times GM}, \quad \Delta_2 = x_2 + \frac{ly_2 d}{D \times GM},$$

$$\Delta_3 = x_3 + \frac{ly_3 d}{D \times GM} \dots$$

подставляя значенія для  $\Delta$  въ уравненіяхъ для  $n$  и  $N$ , и полученныя значенія для  $sax$  послѣднихъ—въ уравненіе для  $F$ , будемъ имѣть:

$$F = \frac{f \cos \varphi}{\sin \varphi \cos \beta} \left( x_1 y_1 + \frac{ly_1^2 d}{D \times GM} + x_2 y_2 + \frac{ly_2^2 d}{D \times GM} + \dots \right).$$

Продолжая ординаты  $y_1, y_2, y_3, \dots$  по другую сторону линіи  $Ce$  (фиг. 5) и откладывая на нихъ части:

$$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots$$

которыя равны:

$$\varepsilon_1 = \frac{f \cos \varphi}{\sin \varphi \cos \beta} \left( y_1 + \frac{ly_1^2 d}{D \times GM} \right),$$

$$\varepsilon_2 = \frac{f \cos \varphi}{\sin \varphi \cos \beta} \left( y_2 + \frac{ly_2^2 d}{D \times GM} \right) \dots$$

и полагая, что линія  $Ce$  раздѣлена на равныя части, т. е., что:

$$x_1 = x_2 = x_3 = \dots = x,$$

то:

$$F = x (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots).$$

Работы: тренія и поднятія судна, могутъ быть выражены одной общей кривою  $Ch$  (фиг. 5), откладывая отъ линіи  $Ce$  постепенно:

$$h = x (y_1 + \varepsilon_1), \quad h_2 = x (y_1 + \varepsilon_2 + y_2 + \varepsilon_2),$$

$$h_3 = x (y_1 + \varepsilon_1 + y_2 + \varepsilon_2 + y_3 + \varepsilon_3) \dots$$

Опредѣлимъ работу, исходя изъ выраженія:

$$W = \frac{Dv^2}{2g}$$

откладываютъ это значеніе какъ ординату  $h$  отъ этой кривой и получаютъ тогда на чертежѣ (фиг. 5):

$$V = y_x$$

и  $C_i$  выражающую среднюю потерю осадки судна, которую назвали выше буквою  $\delta$ .

Толщина льда  $t$ , и подъемъ носовой части судна, можно найти, подставляя найденныя значенія для  $V$  въ формулы (3) и (4).

## Два усилія, второстепеннаго значенія, проявляющіяся при ударѣ судна о ледь.

Если предположить, что уголъ  $\varphi$  на столько малъ, что устраняется потеря силы при ударѣ, то мы и въ этомъ случаѣ, при вышеприведенныхъ расчетахъ не приняли во вниманіе два усилія.

Одно вызывается увеличеніемъ работы происходящей отъ того, что машина, послѣ удара судна о ледь продолжаетъ работать, а другая, составляетъ давленіе, происходящее отъ того, что центръ тяжести судна, послѣ удара, перемѣщается впередъ по направленію движенія; это давленіе вызываетъ увеличенное сопротивленіе тренія.

Для возможности опредѣленія этихъ силъ, необходимо сдѣлать нѣкоторыя предположенія, которымъ не вполнѣ вѣрны, и не дають положительныхъ результатовъ, но силы эти, хотя и не вполнѣ вѣрно опредѣленныя, представляютъ интересъ въ томъ, что дають возможность судить объ относительной важности, или вѣрнѣе, ничтожности, работъ производимыхъ ими, по сравненію съ главною разрушительною работою, т. е. живою силою, развивающейся при ударѣ судна объ ледь.

Къ тому же надо замѣтить, что эти два усилія, дѣйствующія въ противоположныя стороны, уничтожаютъ до нѣкоторой степени другъ друга.

1) Дѣйствіе происходящее отъ работы машины, послѣ удара судна.

Пока судно находится въ движеніи, вся работа машины поглощается сопротивленіями встрѣчаемымъ при движеніи, выраженнымъ выше въ шести различныхъ его элементахъ, но, отъ того момента, когда судно начинаетъ подниматься, носовою своею частью, на ледъ, скорость его начинаетъ уменьшаться и сопротивленіе воды, оказываемое на корпусъ судна, убываетъ соотвѣтственно. Нѣкоторое горизонтальное усиліе, не встрѣчая сопротивленіе въ водѣ, будетъ, поэтому, освобождено, увеличиваясь постепенно отъ 0 до

$$B = \frac{0,75 p S}{P} . . . . . \text{ (см. выпѣ).}$$

Полагая среднее давленіе равнымъ половинѣ этой величины, будемъ имѣть:

$$R_1 = \frac{0,375 p S}{P} .$$

которое будетъ дѣйствовать во все время, отъ момента удара о ледъ, до полной остановки судна, и на всемъ пространствѣ прохожденія судна по льду, которое будетъ:

$$ab \cos \varphi = \Delta \cotang \varphi . . . . . \text{ (фиг. 6).}$$

Полная же работа, развивающаяся при этомъ, будетъ:

$$W_1 = \frac{0,375 p S}{P} \times \Delta \cotang \varphi .$$

Принимая въ соображеніе сопротивленіе тренія, происходящаго отъ этого давленія, обращаясь къ фиг. 1 и 3, получимъ:

$$N = \frac{Q}{\cos \beta} \text{ и } Q = R \sin \varphi .$$

Откуда:

$$N = \frac{B \sin \varphi}{\cos \beta} ;$$

но:

$$B_2 = \frac{0,375 p S}{P},$$

почему, согласно выраженію для  $N$  будемъ имѣть:

$$N_1 = \frac{B_1 \sin \varphi}{\cos \beta},$$

гдѣ  $N_1$  есть нормальное на баттоксы давленіе, соответствующее усилию  $R_1$ , а потому:

$$N_1 = \frac{0,375 p S \sin \varphi}{P \cos \beta};$$

пространство, на которомъ эта сила дѣйствуетъ, будетъ:

$$ab = \frac{\Delta}{\sin \varphi},$$

а потому, для соответствующей работы, будемъ имѣть:

$$f N ab = \frac{0,375 f p S \Delta}{P \cos \beta};$$

вычитая это выраженіе изъ  $W_1$ , получимъ окончательно:

$$W = W_1 - f N ab = \frac{0,375 p S \Delta}{P} \left( \cotang \varphi - \frac{f}{\cos \beta} \right). \quad (5)$$

## 2) Сопротивленіе тренія, вызванное измѣненіемъ движенія.

Для приблизительнаго опредѣленія втораго изъ вышеприведенныхъ усилій, или сопротивленія тренія, вызываемаго измѣненіемъ направленія движенія, положимъ:

$G$ —(фиг. 7) есть положеніе центра тяжести судна, въ моментъ удара носовой его части о ледь,

$G_i$ —горизонтальное разстояніе проходимое судномъ послѣ удара, которое равно  $ab \cos \varphi$  (фиг. 6) и

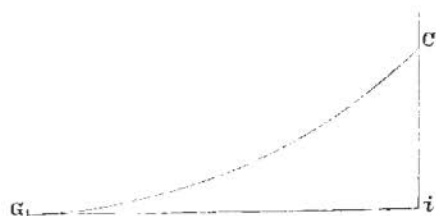
$C_i$ —вертикальное разстояніе, на которое центръ тяжести судна будетъ поднять (см. фиг. 5).

Вычерчивая дугу круга  $GC$ , въ которой  $Gi$  есть касательная въ точкѣ  $G$ , получимъ путь, весьма близкій къ тому, который будетъ пройденъ центромъ тяжести судна послѣ удара о ледъ; при этомъ должна развиваться центробѣжная сила, величина которой, въ началѣ движенія, т. е. въ точкѣ  $G$  будетъ:

$$\frac{Dv^2}{g\rho},$$

гдѣ  $\rho$  есть радиусъ дуги круга  $GC$ .

Скорость будетъ постепенно уменьшаться, при подходѣ къ точкѣ  $C$ , гдѣ она обращается въ нуль.



Фиг. 7.

Присовокупляя далѣе, что уменьшеніе скорости можетъ быть взято, обратно пропорціонально пройденному пространству, и если все пространство раздѣлить на  $n$  равныхъ частей и положить, что скорости движенія судна  $v_1, v_2, v_3, \dots$  въ предѣлахъ каждой части отдѣльно, равномерно, то средняя центробѣжная сила выразится такъ:

$$Q_1 = \frac{1}{n} \left( \frac{Dv^2}{g\rho} + \frac{Dv_1^2}{g\rho} + \frac{Dv_2^2}{g\rho} + \dots \right)$$

или

$$Q_1 = \frac{D}{g\rho} \left( \frac{v^2 + v_1^2 + v_2^2 + \dots}{n} \right).$$

Назвавъ длину каждой части черезъ  $s$  получимъ, на основаніи обратнаго отношенія скоростей къ пройденному пространству, слѣдующее:

$$\frac{v}{ns} = \frac{v_1}{(n-1)s} = \frac{v_2}{(n-2)s} = \dots = \frac{v_{(n-1)}}{s}$$

или

$$v_1^2 = \frac{v^2(n-1)^2}{n^2}, \quad v_2^2 = \frac{v^2(n-2)^2}{n^2}, \quad v_3^2 = \frac{v^2(n-3)^2}{n^2} \dots$$

складывая и раздѣляя на  $n$  получимъ:

$$\begin{aligned} \frac{v^2 + v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n} &= \frac{v^2}{n} \left( \frac{n^2}{n^2} + \frac{(n-1)^2}{n^2} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{(n-2)^2}{n^2} + \dots + \frac{1^2}{n^2} + 0 \right) = \\ &= v^2 \left( \frac{1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + (n-1)^2 + n^2}{n^3} \right) = \frac{v^2}{3} *) \end{aligned}$$

подставляя это, въ выраженіе для  $Q_1$  получимъ:

$$Q_1 = \frac{Dv^2}{3g\rho}$$

принимая далѣе, что это усиліе уравновѣшивается главнымъ образомъ усиліемъ нормальнымъ къ баттокамъ, будемъ имѣть:

$$N_1 = \frac{Q_1}{\cos \beta} = \frac{Dv^2}{3g\rho \cos \beta};$$

пространство на которомъ эта сила дѣйствуетъ есть:

$$ab = \frac{\Delta}{\sin \varphi} \dots \dots \dots \text{(фиг. 6)}$$

а потому работа тренія, вызываемого этимъ усиліемъ, выражена будетъ слѣдующимъ образомъ:

$$F_1 = \frac{f D \cdot v^2 \Delta}{3g\rho \sin \varphi \cos \beta};$$

но:

$$\rho = \frac{G_i^{-2} + C_i^{-3}}{2C_i}$$

и

$$G_i = ab \cos \varphi = \Delta \cotang \varphi; \quad C_i = \delta,$$

а потому

$$F_1 = \frac{2f Dv^2 \Delta \delta}{3g \sin \varphi \cos \beta (\Delta^2 \cotang^2 \varphi + \delta^2)} \dots \dots \dots (6)$$

\*) Предѣлъ суммы квадратовъ натуральныхъ чиселъ дѣленный на кубъ числа взятыхъ чиселъ =  $\frac{1}{3}$ .

## Перемѣщеніе метацентра.

При составленіи чертежа ледокола, слѣдуетъ обращать вниманіе на то, что вертикальное усиліе  $V$ , поднимающее носъ судна, стремится перемѣстить метацентр, и этимъ уменьшить устойчивость судна.

Положимъ  $W_1 L_1$  представляеть уровень воды, когда судно носомъ подвѣвалось на ледь (фиг. 8);  $B$ —центр тяжести водовзмѣщенія и что вертикальное усиліе  $V$  приложенное къ точкѣ  $R$ , дѣйствуетъ такимъ образомъ, что первоначальные: метацентр  $M$  и центр тяжести  $B$ , соотвѣтствующіе уровню воды  $W L$ , перемѣстились въ точки  $M_1$  и  $B_1$ .

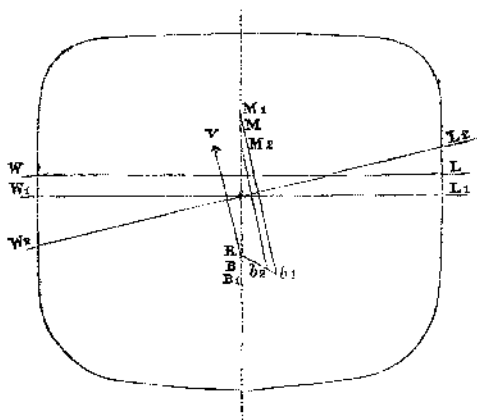
Положимъ теперь, что судно наклонилось соотвѣтственно уровню  $W_2 L_2$  и что центр водовзмѣщенія перемѣстился въ  $b_1$ , тогда два усилія: одно  $V$ , приложенное къ точкѣ  $R$  и другое  $D_1$ , стремящее привести судно въ устойчивое положеніе, приложенное въ точкѣ  $b_1$ , дѣйствуя на корабль, могутъ быть замѣнены однимъ усиліемъ  $V + D_1$ , направленнымъ параллельно первымъ двумъ, и проходящимъ черезъ точку  $b_2$  на линіи  $R b_1$ , расположенной отъ концовъ, на разстояніяхъ, обратно пропорціональныхъ усиліямъ, а потому:

$$\frac{R b_2}{b_1 b_2} = \frac{D_1}{V}.$$

Точка пересѣченія этого новаго усилія съ вертикальною осью судна, т. е. точка  $M_2$ , есть то, что можетъ быть названо вертикальнымъ метацентромъ, зависящимъ отъ усилія  $V$  и водовзмѣщенія  $D_1$ .

Обращаясь къ фиг. 8 будемъ имѣть:

$$\frac{R b_2}{b_1 b_2} = \frac{R M_2}{M M_2} = \frac{R M_1 - M_1 M_2}{M_1 M_2} = \frac{D_1}{V}.$$



Фиг. 8.

Откуда:

$$V \times R M_1 - V \times M_1 M_2 - D_1 \times M_1 M_3 = 0$$

и

$$M_1 M_2 = \frac{V \times R M_3}{V + D_1} *).$$

## Детали устройства.

Обращаясь затѣмъ къ составленію чертежей судовъ, видимъ изъ формулы для  $V$ , что для увеличенія способности ломать ледъ, необходимо уменьшить по возможности углы  $\varphi$  и  $\beta$ ; слѣдуетъ кромѣ того обращать вниманіе на то, чтобы судно не было особенно тяжело устроено, на основаніи приципъ изложенныхъ ниже.

Суда строятся обыкновенно достаточно сопротивляющимися дѣйствіямъ переломляющимъ и раздавливающимъ, принимая его какъ балку, свободно лежащую на двухъ опорахъ, или подпертую по серединамъ, съ двумя свободными концами.

Въ такомъ случаѣ наибольшее давленіе передается килю и боковой обшивкѣ противъ палубы (shear-strakes), почему на эти части распределяется наибольшее количество матеріала.

Устраиваются кромѣ того обыкновенно двойныя днища и водонепроницаемыя перегородки, для предохраненія отъ аварій на случай пробоя при ударѣ о подводную мель.

Для ледоколовъ необходимо, кромѣ того, сдѣлать судно прочнымъ, на случай пробоя льдомъ, у ватерлиній.

Проще всего было бы прадерживаться правиламъ Ллойда, относительно распределенія матеріала, и сверхъ сего сдѣлать такія добавочныя укрѣпленія у ватерлиній, которыя слѣдуетъ, въ каждомъ

\*) Ф. К. Вагнеръ указываетъ (Annual of Royal School of Naval Architecture, January 1874), когда судно садится на мель, что до некоторой степени тождественно съ настоящимъ случаемъ, что:

$$M_1 M = \frac{V \times Q \times R}{D}$$

примечъ принимаемъ, что моменты инерціи двухъ смежныхъ плоскостей по ватерлиніамъ, одна и тѣ же;  $D$ —есть водонивыщеніе судна до удара и  $Q$ —положеніе центра тяжести объема воды между ватерлиніями  $W I$  и  $W_1 L_1$ .

данномъ случаѣ, признать необходимыми; но это увеличило бы значительно вѣсъ судна, иногда значительно больше того, что можетъ быть допускаемо.

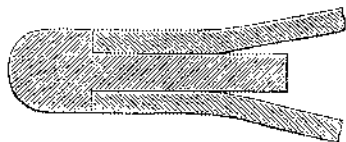
Не ослабляя однако судно, можно нѣсколько уменьшить толщину наружной обшивки дна и противъ палубы (shear-strakes), увеличивая соответственно толщину листовъ у ватерлиніи.

Флоры и стрингеры выше уровня воды, а въ особенности у палубы, могутъ быть сдѣланы также нѣсколько легче, можно также отказаться отъ двойнаго днища, въ виду увеличенія прочности судна у ватерлиніи, противъ раздавливанія и перелома.

Форъ и ахтеръ-штевни, а также и стойка къ которой привѣшивается руль (задній ахтерштевень), а равно и самый руль, должны быть сдѣланы значительно сильнѣе, чѣмъ это принято на обыкновенныхъ пароходахъ. Обшивка, начиная отъ грузовой ватерлиніи къ низу, должна быть утолщена противу тѣхъ размѣровъ, которые указываются правилами Ллойда, для высшаго класса судовъ.

Это увеличеніе толщины, должно быть сдѣлано въ слѣдующихъ пропорціяхъ:

Въ передней части судна, на  $\frac{1}{5}$  его длины, считая отъ форштевня — на 60%, отъ ватерлиніи до киля; на  $\frac{1}{7}$  длины отъ кормы, на 40%, отъ ватерлиніи на 18 дюймовъ ниже уровня воды. Этотъ поясъ долженъ утончаться къ серединѣ судна, гдѣ толщина обшивки не должна быть однако менѣе, чѣмъ на 25% болѣе, толщины указанной правилами Ллойда. Всѣ стыки, находящіеся въ этомъ поясѣ, должны быть о трехъ рядахъ заклепокъ, для предупрежденія отъ разрыва дѣйствіемъ льда; для этой же цѣли, необходимо чтобы въ штевняхъ не было выступающихъ реберъ, за которыя ледъ могъ бы ухватиться. Посему слѣдуетъ, чтобы листы обшивки были втоплены въ штевни, какъ показано на фиг. 9.



Фиг. 9.

Толстые листы въ носовой части судна, должны быть приклепаны въ притыкъ, гладко; переходъ отъ стыковъ въ притыкъ къ стыкамъ въ нахлестку показано на фиг. 10 и особыхъ поясненій не требуетъ.

На пароходахъ-ледоколахъ, обшивка носовой части, дѣлается большею частью двойною, какъ показано на фиг. 11 (со стыками въ перевязку).

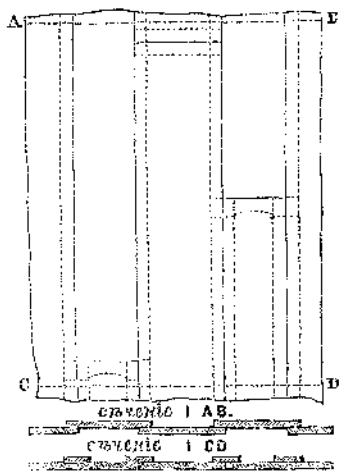
Противъ такого устройства можно замѣтить, что вода, проникая въ промежутокъ между листами, способствуетъ быстрому ржавѣнію ихъ, и что одинъ листъ толщиной равною толщинѣ двухъ, или даже нѣсколько тоньше, даетъ судну большую жесткость и крѣпкость, чѣмъ обшивка двумя тонкими листами.

Излишне указывать на то, чтобы матеріалы для устройства ледокола, были самаго высшаго качества. Шведское сварочное желѣзо, слѣдуетъ предпочесть, но крайній мѣръ для обшивки носовой части судна и у ватерлиній.

Хотя возможно имѣть для постройки судовъ мягкую сталь, превосходнаго качества, но употребленіе его наврядъ ли слѣдуетъ рекомендовать, въ случаяхъ, когда оно можетъ быть подвержено сильнымъ ударамъ при низкой температурѣ. Дѣль или три непроницаемыхъ поперечныхъ перегородокъ, расположенныхъ въ нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга, слѣдуетъ на всякій случай помѣстить въ носовой части судна. Хотя промежуточные желѣзные палубы, помѣщенные въ носовой части судна, придаютъ ему значительную жесткость, но это не должно быть допускаемо, главнымъ образомъ потому, что доступъ въ пространства между ними, на случай окраски и починки, весьма затруднителенъ.

Налучшій способъ усиленія носовой части судна, заключается въ расположеніи между желѣзными уголковыми шпангаутами, крѣпкіе деревянные таковыя, связать ихъ попарно, поперекъ судна, деревянными же распорками.

Эти шпангауты легко снимаются и могутъ быть замѣняемы новыми, на случай надобности, представляя вмѣстѣ съ тѣмъ прекрасную опору для обшивки судна.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

Для главныхъ шпангаутовъ \*) размѣры могутъ быть взяты по правиламъ Ллойда, а разстояніе между ними, не можетъ быть увеличено болѣе чѣмъ на 2 дюйма, противу того, что дается этими же правилами. Въ носовой части слѣдуетъ расположить промежуточные уголковыя шпангауты, по длинѣ  $\frac{1}{3}$  всего судна. Эти промежуточные шпангауты могутъ быть на 20% тоньше главныхъ и должны идти отъ палубы до киля и связаны у днища флорами. Въ остальной части судна надо установить промежуточные шпангауты противъ ватерлиніи, которые должны простираться достаточно подъ и надъ водою, они должны быть поддерживаемы крѣпкими продольными балками (стрингерами), какъ показано на фиг. 12.

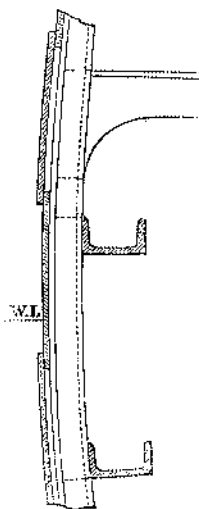
Для предупрежденія вдавливанія боковъ судна, слѣдуетъ у ватерлиніи имѣть нѣсколько внутреннихъ трюмныхъ бимсъ (поперечныхъ балокъ) и постоянный запасъ деревянныхъ распорокъ, дабы возможно было на случай хода судна между толстыми льдинами, расперѣть судно изънутри, и предупредить такимъ образомъ вдавленіе боковъ отъ натиска льда.

Ледъ, подходя къ судну, подбирается подъ скулу и поднимая его нѣсколько вверхъ, проходитъ подъ килемъ, который принимаетъ нѣкоторую часть удара льда, чѣмъ вмѣстѣ и уменьшается опасность для судна.

Съ большимъ вниманіемъ и тщательностью, должны быть устроены водонепроницаемыя перегородки, онѣ должны быть такъ часто расположены, чтобы судно не могло потонуть на случай пробоя въ двухъ смежныхъ отдѣленіяхъ. Сила насосовъ должна быть такова, чтобы въ 1 часъ можно было отлить количество воды, соответствующее полному водовзмѣщенію судна.

Если судно предназначено для пассажировъ, то помѣщенія для нихъ, а равно и для команды, должны быть хорошо провентилированы и отапливаемы.

Опасность происходящая отъ перекатыванія волнъ, во время силь-



Фиг. 12.

\*) Шпангауты дѣлаются изъ одноконныхъ уголковъ, и изъ двойныхъ, склепаныхъ на подобіе буквы Z, эти послѣдніе названы здѣсь главными.

наго мороза, приведена выше. Для уменьшенія этой опасности, необходимо, чтобы палуба была по возможности гладкою, безъ ватервейса и другихъ выступающихъ частей, въ особенности въ носовой ея части; люки и спуски подъ палубу должны быть расположены ближе къ кормѣ, и устройство какого либо борта на палубѣ, въ носовой части судна, должно быть абсолютно воспрещено.

Конструкція судовъ должна быть такова, чтобы онѣ, при качкѣ, легко переваливались съ боку на бокъ, хотя бы и въ ущербъ удобства пассажировъ, ибо вода съ валкаго судна легче стекаетъ, чѣмъ со стойкаго.

Ось винта должна быть толще обыкновеннаго и самый винтъ сдѣланъ изъ литой стали, такихъ размѣровъ, чтобы противустоять, не ломаясь, ударамъ о ледъ.

Если осадка судна допускаетъ, то винтъ долженъ быть расположенъ значительно подъ водою, во избѣжаніе, на сколько это возможно, столкновенія со льдомъ.

Двигатель долженъ быть сильный и простой конструкціи. Если призмленъ холодильничекъ съ наружнымъ охлажденіемъ, то слѣдуетъ его устроить такъ, чтобы онъ могъ дѣйствовать инжекціонной водою; сверхъ того необходимо устроить его такъ, чтобы, прекращалъ вовсе конденсацію, возможно было выпустить отработавшій паръ прямо въ воздухъ.

Это устройство необходимо въ виду того, что выпускнымъ отверстіямъ бывають забиты снѣгомъ и льдомъ.

Всѣ отверстія въ бортахъ судна, для приѣма и выпуска воды, должны быть снабжены вертикальными трубами, для прохода пара, или быть соединенными съ желѣзными танками, расположенными выше уровня воды, трубки эти должны оканчиваться непосредственно у рѣшетокъ отверстій.

Снабженіе судна всѣми необходимыми припасами, въ количествѣ достаточномъ, на продолжительное время, необходимо также, въ виду того, что судно, застигнутое льдомъ, можетъ быть внѣ сообщенія съ берегомъ, иногда весьма долгое время.

Независимо отъ снабженія ледокола обыкновенными лодками, необходимо имѣть нѣсколько небольшихъ лодокъ на полозьяхъ, которыя могли бы служить на водѣ и какъ сани на льду, равнымъ образомъ необходимо имѣть нѣсколько пель и топоровъ, для расшивки и околки льда, а также и другіе приборы для ломки и рѣзки льда; якоря для укрѣпленія корабля за ледъ, домкраты, блоки, подиспасты,

канаты, лѣстницы, переносные мостики для возможности прохода черезъ открытыя мѣста во льду и проч. также необходимо имѣть постоянно въ запасѣ на ледеколѣ.

Открытыя мѣста во льду (полыньи), называемыя по Шведски „Råkog“, шириною иногда въ нѣсколько сажень и длиною въ нѣсколько миль, представляютъ большую трудность при проходѣ. Онѣ происходятъ вѣроятно отъ сжатія льда, во время очень сильныхъ морозовъ, образованіе ихъ не постепенное, а вдругъ, причемъ оно всегда сопровождается сильнымъ трескомъ, напоминающимъ иногда пушечный выстрѣлъ.

## Описаніе нѣкоторыхъ существующихъ ледеколовъ и пароходовъ для зимняго плаванія.

### 1) Пароходъ «Express» \*).

Въ теченіи лѣтнихъ мѣсяцевъ существуетъ весьма оживленное сообщеніе между Швеціею и Финляндіею, какъ пассажирское, такъ и товарное; но до 1877 года сообщеніе это прекращалось всегда съ появленіемъ льда, когда суда устанавливались въ гаваняхъ на зимовку. Желательно было однако найти средство, посредствомъ котораго возможно было бы поддержать сообщеніе съ Швеціею непрерывно, круглый годъ.

Образовалась поэтому компанія, получившая субсидію отъ Финляндіи, которая имѣла цѣлью устроить пароходъ способный къ плаванію въ теченіи зимнихъ мѣсяцевъ, между Галгъ и Стокгольмомъ. Составителю сей статьи поручено было составить спецификацію на постройку новаго парохода, результатомъ чего была постройка парохода „Express“, подъ его же личнымъ наблюденіемъ, на Оскарехамнскомъ заводѣ въ Швеціи.

Въ то время не имѣлось почти вовсе данныхъ для устройства ледеколовъ и товаро-пассажирскихъ пароходовъ, предназначаемыхъ къ зимнему плаванію. Сумма назначенная на постройку парохода была очень ограничена, такъ что необходимо было рѣшить весьма трудную задачу: *построить хорошо и дешево.*

Признавая главнымъ, сдѣлать пароходъ достаточно прочнымъ, для сопротивленія ударамъ льда, оно было исполнено въ ущербъ

\* Чертежи нѣкоторыхъ изъ этихъ пароходовъ, помѣщены особо, въ концѣ.

удобству внутренняго расположенія, вслѣдствіе чего, установившееся общее, весьма не лестное, мнѣніе объ этомъ пароходѣ, могло бы служить доказательствомъ тому, что пароходъ устроенъ неудачно. Нельзя, однако, не отдать справедливость пароходу въ томъ, что онъ въ теченіи всего времени службы, вполне удовлетворительно исполнялъ всё на него возложенныя требованія. Служба эта продолжается непрерывно по настоящее время съ 1877 года.

Главные размѣры этого парохода слѣдующіе:

Длина . . . . .	$L = 139'$
Ширяна . . . . .	$B = 22',6''$
Высота, отъ верхней кромки бимсы, до верхней кромки кила . . . . .	$H = 20'$
Осадка въ грузу . . . . .	$h = 11',6''$

Пароходъ имѣетъ силовую палубу во всю свою длину, подъ которою расположено помѣщеніе для пассажировъ и команды.

Много было высказано сомнѣній относительно остойчивости этого парохода во время бури въ сильный морозъ, предполагали почти невозможнымъ, воспрепятствовать образованію значительнаго количества льда на палубѣ, вслѣдствіе причинъ изложенныхъ выше. Это опасеніе заставило автора прибѣгнуть къ технической уловкѣ, для удаленія льда съ палубы.

Съ этою цѣлью устроена была подъ желѣзною палубою, на нѣкоторомъ отъ нея разстояніи, деревянная обшивка, и въ образовавшемся промежуткѣ уложены трубы для прохода пара, съ цѣлью нагрѣванія палубы, на случай образованія на ней толстаго слоя льда. Употребленіе пара для оттаиванія льда, предполагалось лишь тогда, когда ледъ на палубѣ достигнетъ размѣровъ, дѣлающихъ невозможнымъ ходъ по ней, и представляющихъ опасность для судна. При этомъ предполагалось пустить паръ по трубамъ, и оттаиваніемъ льда способствовать его околѣ и удаленію.

По сіе время, т. е. съ 1877 года паръ не разу не былъ пущенъ въ трубы, хотя и нерѣдко бывали случаи, что волны, во время сильныхъ морозовъ, перекатывались черезъ палубу судна и послѣдняя покрывалась слоемъ льда. Это слѣдуетъ приписать главнымъ образомъ тому, что большая подвижность и валкость судна, не давали водѣ оставаться на палубѣ, она легко стекала, и покрывала судно лишь тонкимъ слоемъ льда.

Паровая машина системы „Сompound“ съ наружнымъ охлажденіемъ въ 400 индик. силъ; скорость хода 11 узловъ въ часъ при которой пароходъ разбиваетъ ледъ толщиной до 5 дюймовъ, дѣйствуя однимъ напоромъ, безъ удара.

Рейсъ между Гангэ и Стокгольмомъ, совершаетъ въ 17—20 час. при отсутствіи сильнаго вѣтра и льда.

## 2) Пароходъ «Isbrytare».

Въ 1881 году построенъ былъ, на Мотальскомъ заводѣ въ Швеціи, ледоколъ, названный „Isbrytare“ \*) и предназначенный для Готенбурга.

Главные его размѣры, слѣдующіе:

Длина . . . . .	$L = 131',6''$
Ширина . . . . .	$B = 34'$
Осадка кормою . . . . .	$h = 12',2''$

Во время ломки льда кормовой балластный резервуаръ наполненъ водою, такъ что дифференъ судна доводится до 2 футовъ.

Ледоколъ этотъ въ такомъ видѣ разбиваетъ, при ровномъ ходѣ, осеній ледъ, толщиной до 8 дюймовъ.

Внутри судна расположено семь водонепроницаемыхъ перегородокъ.

Киль имѣетъ въ поперечникѣ . . . . .	$7'' \times 4''$
Форштевень . . . . .	$10'' \times 2\frac{1}{2}''$
Ахтерштевень . . . . .	$8'' \times 5''$
Шпангауты уголковыя въ . . . . .	$4'' \times 3\frac{1}{2}'' \times \frac{3}{8}''$

Эти послѣдніе расположены въ растояніи 12'' другъ отъ друга въ носовой части судна, а на кормѣ на 18'' другъ отъ друга.

Флоры имѣютъ размѣры  $19\frac{1}{2}'' \times \frac{7}{16}''$ .

Бимсы составлены изъ плоскаго котельнаго желѣза въ  $8'' \times \frac{1}{2}''$  съ двумя уголками въ  $3'' \times 3'' \times \frac{3}{8}''$ .

Желѣзная палуба изъ котельнаго желѣза толщиной въ  $\frac{3}{8}''$ .

Наружная обшивка:

У ватерлиніи и на носу въ . . . . .	$\frac{7}{8}''$
На кормѣ . . . . .	$\frac{3}{4}''$

Остальная обшивка подъ водою сдѣлана изъ желѣза толщиной въ  $\frac{1}{2}''$  съ двумя рядами заклепокъ во всѣхъ швахъ.

\*) «Isbrytare» — ледоколъ.

Машина „Comround“ въ 200 номинальныхъ п. с. для 700 индикаторныхъ, съ наружнымъ охлажденіемъ; давленіе пара въ котлѣ 80 фунт. \*) на 1 кв. дюймъ.

Всѣ подвижныя части машины сдѣланы на 20% толще чѣмъ требуется вообще для такой паровой машины.

### 3) Пароходъ «Öland».

Пароходъ этотъ построенъ въ 1883 году на Бергзунскомъ заводѣ въ Швеціи (Стокгольмѣ) и предназначенъ для почтового движенія между материкомъ Швеціи и островомъ Эландомъ.

Главные его размѣры слѣдующіе:

Длина . . . . .	$L = 105'$
Ширина . . . . .	$B = 24'$
Высота . . . . .	$H = 10',6''$
Осадка . . . . .	$h = 7'$

Машина „Comround“ съ цилиндрами въ 20" и 35"; длина хода поршня 24", давленіе пара 65 фунтовъ.

При 121 оборотѣ винта въ минуту, машина развиваетъ 290 индикаторныхъ силъ. Скорость хода 10,37 узловъ.

Нѣтъ совершенно точныхъ свѣдѣній о наибольшей толщинѣ льда, который можетъ быть разбитъ этимъ ледоколомъ, но утверждаютъ что онъ, идя со скоростью отъ 4 до 5 узловъ, прорѣзываетъ свободно ледъ толщиной въ 5 дюйм. Такое дѣйствіе его слѣдуетъ считать весьма удовлетворительнымъ по сравненію съ незначительными его размѣрами и малой силы машины.

Примѣняя размѣры и силу машины этого парохода-ледокола, къ вышеприведенному расчету, оказывается, что онъ долженъ быть въ состояніи разбивать ледъ толщиной до 6 дюймовъ.

### 4) Пароходъ «Bryderen» \*).

На механическомъ заводѣ Кокума, въ Мальмэ, въ Швеціи, построенъ былъ въ 1885 году ледоколь „Bryderen“ для датскаго общества „Det Forenede Dampskib-Selskab“ въ Копенгагенѣ.

\*) Англійскіе фунты = 1,1 русск. фунта.

\*) Bryderen = ледоколь.

Пароходъ этотъ имѣеть слѣдующіе размѣры:

Вся длина . . . . .	$L = 142'$
Ширина . . . . .	$B = 32'$
Высота . . . . .	$H = 15', 9''$
Осадка . . . . .	$h = 13'$

Водозмѣщеніе 649 тоннъ.

Машина системы „Compound“ съ наружнымъ охлажденіемъ. Диаметры цилиндровъ 35 и 64 дюймовъ, длина хода поршней 35".

Пароходъ имѣеть два котла, съ общемою поверхностью нагрѣва въ 3.027 квадрат. футовъ; давленіе пара 90 фунтовъ.

Лопасті винта сдѣланы изъ литой стали, а сердечникъ изъ чугуна.

Машина развиваеть 900 индикаторныхъ силъ при скорости въ 11 узловъ въ часъ.

### 5) Пароходы: «Em. Z. Svitzer» и «Starkodder».

Эти два, весьма интересныя судна, построены нѣсколько лѣтъ тому назадъ на верфи Бурмейстеръ и Вайнь въ Копенгагенѣ.

„Em. Z. Svitzer“ имѣеть слѣдующіе размѣры:

Длина . . . . .	$L = 135'$
Ширина . . . . .	$B = 25'$
Высота . . . . .	$H = 13', 6''$
Осадка безъ груза . . . . .	$h = 9'$

Размѣры матеріаловъ согласованы съ правилами Бюро „Веритасъ“ съ прибавленіемъ нѣсколькихъ добавочныхъ шпангаутовъ, стрингеровъ и кильсоновъ.

Машина системы „Compound“ съ наружнымъ охлажденіемъ развиваеть 800 индикаторныхъ силъ при давленіи пара въ 75 фунт.

„Starkodder“ отличается отъ другихъ пароходовъ-ледоколовъ тѣмъ, что имѣеть два винта. Хотя и придерживались вообще того мнѣнія, что два винта неудобны для ледоколовъ, вслѣдствіе того, что они должны быть расположены относительно высоко и подвержены ударамъ льдинъ, но этотъ пароходъ доказалъ что и два винта могутъ быть примѣняемы для ледоколовъ съ большою выгодною.

Размѣры его слѣдующіе:

Длина . . . . .	$L = 150'$
Ширина . . . . .	$B = 27'$
Высота . . . . .	$H = 14'$
Осадка . . . . .	$h = 10', 6''$

Киль ( $6\frac{1}{2}'' \times 2''$ ) форь- и ахтерь-штевни ( $8\frac{1}{2}'' \times 2''$ ) изготовлены изъ сварочнаго желѣза. Шпангауты угольные ( $4'' \times 3'' \times \frac{7}{16}''$ ), разставлены въ кормѣ и на носу въ 15 дюймовъ другъ отъ друга, а по серединѣ на 18". Пароходъ этотъ имѣетъ двѣ машины „Compound“ въ 900 индикаторныхъ силъ, скорость хода  $11\frac{1}{2}$  узловъ. Парообразование совершается въ двухъ котлахъ, подъ давленіемъ 75 фунтовъ.

Этими ледоколами можно, при ровномъ ходѣ, разбивать ледъ толщиной 8 дюймовъ, если же дѣйствовать ударомъ, то они разбиваютъ ледъ толщиной доходящею до 20".

### 6) Ледоколъ «№ 2».

Для разломки льда на рѣкѣ Делаваръ въ Америкѣ, на пространствѣ между Филадельфіею и мысами Делаваръ, на протяженіи 103 англ. миль (около 160 верстъ) и для буксировки судовъ на этомъ пространствѣ, выстроены были на заводѣ „Вильямъ Крампъ и Сынъ“ въ Филадельфій два ледокола: „№ 1“ и „№ 2“ съ гребными колесами.

Строители утверждаютъ, что въ сказанномъ мѣстѣ, практика указала, что колесные пароходы цѣлесообразнѣе винтовыхъ, для ледоколовъ.

Ледъ на рѣкѣ и въ бухтѣ Делаваръ рѣдко бываетъ толще 10", но онъ нагромождается иногда массами толщиной доходящею до нѣсколькихъ футовъ.

Машина съ поверхностнымъ охлажденіемъ, устроена такъ, что колеса могутъ дѣйствовать независимо другъ отъ друга, или вмѣстѣ.

Размѣры его слѣдующіе:

Длина . . . . .	$L = 196'$
Ширина (безъ кожуховъ) . . . . .	$B = 29'$
Высота . . . . .	$H = 14'$
Осадка . . . . .	$h = 10', 3''$

На пароходѣ два цилиндра по 45" въ діаметрѣ, ходъ поршней 8', давленіе пара 60 фунтовъ; четыре котла.

7) *Пароходъ-ледоколъ «Murtaja».*

Нѣсколько времени тому назадъ, автору сей статьи поручено было Финляндскимъ Правительствомъ составить чертежи товаро-пассажирскаго парохода, предназначеннаго для зимнихъ рейсовъ, по той же линіи, по которой ходилъ по сіе время пароходъ „Express“ \*).

Размѣры его слѣдующіе:

Длина . . . . .	$L = 181'$
Ширина . . . . .	$B = 27'$
Высота . . . . .	$H = 15'$
Осадка . . . . .	$h = 13'$
Высота между палубами . . . . .	7'

Скорость хода въ часъ  $11\frac{1}{2}$  узловъ.

Машина „Compound“ въ 650 индикаторныхъ силъ, снабжена инжекціоннымъ холодильникомъ.

Діаметры цилиндровъ 29" и 55", ходъ поршня 33", давленіе пара 75 фунтовъ.

Винтъ, о четырехъ лопастяхъ, изъ литой стали, сердечникъ изъ чугуна.

8) *Ледоколъ заказанный для Николаева.*

Комиссія по устройству коммерческихъ портовъ заключила контрактъ съ заводомъ „Motala“ въ Швеціи въ 1889 г. на поставку парохода-ледокола для Николаевскаго порта въ Черномъ морѣ. Согласно этому контракту, ледоколъ долженъ быть сданъ въ Николаевъ 15 сентября 1891 года.

Размѣры его слѣдующіе:

Длина . . . . .	$L = 135'$
Ширина . . . . .	$B = 34'$
Высота . . . . .	$H = 17'$

\*) Пароходъ этотъ, предназначенный равнѣе занять мѣсто парохода «Express», получилъ при окончательномъ заказѣ его, назначеніе быть ледоколомъ, но онъ приспособленъ также и для небольшого числа пассажировъ. Пароходъ названный «Murtaja» исполняется на Бергаундскомъ заводѣ въ Стокгольмѣ и будетъ оконченъ лѣтомъ настоящаго года. Когда писалась эта статья, то не было еще окончательно рѣшено о приобрѣтеніи этого парохода-ледокола.

Осадка, съ балластомъ въ 35 тоннъ .  $h = 16'$

„ безъ балласта . . . . .  $h_1 = 13'$

Въ носовой части судна находится танкъ, наполняемый водою въ 50 тоннъ, на случай необходимости увеличенія давленія судна, при разбивкѣ льда.

Машина „Triple expansion“ (тройного расширенія) съ поверхностнымъ охлажденіемъ.

Диаметры цилиндровъ 18, 27 и 48 дюймовъ, ходъ поршней 33".

Давленіе пара 160 фунтовъ.

Скорость хода въ часъ 10 узловъ.

Парообразование совершается въ двухъ большихъ и одномъ вспомогательномъ котлахъ.

Лопастя винта бронзовыя, а сердечникъ стальной.

На пароходѣ помѣщенъ насосъ, предназначенный для работы при поднятіи затонувшихъ судовъ, могущій отливать до 650 тоннъ воды въ часъ.

Для возможности работать ночью, будетъ электрическое освѣщеніе.

---

Кажется не особенно опрощивымъ надѣяться на значительное развитіе зимняго судоходства въ нашихъ сѣверныхъ моряхъ, а что еще болѣе важно, на поддержаніе нашихъ сѣверныхъ портовъ открытыми для навигаціи, хотя не всю зиму, такъ по крайней мѣрѣ большую часть года, если приобретаемы будутъ, для всѣхъ портовъ, ледоколы.

Ледоколы рационально устроенные, съ принятіемъ всѣхъ тѣхъ особенностей для нихъ, которыя на практикѣ оказались весьма полезными, несомнѣнно окажутъ огромную пользу въ дѣлѣ развитія торговли въ нашихъ отпускныхъ портахъ, закрываемыхъ нынѣ льдомъ на весьма продолжительное время.

---

По телеграфу получено 24 марта сего 1890 года, въ то время когда печаталась сія брошюра, извѣстіе о томъ, что пароходъ-ледоколы „Murtaja“ спущенъ въ воду и по освидѣтельствованіи на пробномъ рейсѣ, продолжавшемся шесть часовъ, далъ слѣдующіе результаты: машина развивала при полной работѣ 1300 индикатор-

ныхъ силъ, скорость хода 12 узловъ, ходъ спокойный, большая подвижность и легко слушается руля. Сверхъ контракта устроено, кромѣ нѣкоторыхъ мелочей, электрическое освѣщеніе.

Водяные, балластные и промывные танки работаютъ хорошо.

Судно, съ своими девятью водонепроницаемыми перегородками, толстою, на подобіе брони обшивкою у ватерлиній, трюмными и палубными бимсами, и вообще своею весьма солидною конструкціею, представляетъ силовую желѣзную громаду.

Внутреннее устройство, хотя сдѣлано просто, но оно весьма удобно, практично и не безъ вкуса. Пять каютъ для пассажировъ, столовая, два вмѣстительныхъ юта, двѣ кухни, одинадцать каютъ для команды и матросовъ. Поверхъ судна идетъ сплошная палуба (hurricane-deck). На суднѣ имѣются: насосы для откачиванія воды во время бури, буксирныя приспособленія, спасательныя снаряды, необходимые приборы, двѣ дымовыя трубы, четыре котла и всѣ по-вѣйшія усовершенствованія. Руль дѣйствуетъ паромъ.

По наружному виду судно напоминаетъ яліцо, длиною въ 166 ф. шириною въ 37 и наибольшей глубиной осадки 20 футовъ. Форштевень опускается плавною кривою, судно имѣетъ большую подвижность, но вѣроятно менѣе остойчиво въ морѣ.

Заводъ не только исполнилъ съ достоинствомъ всѣ условія контракта, но поставилъ многое сверхъ этого, и потому работалъ себѣ въ убытокъ.

Еще предстоитъ другой пробный рейсъ, послѣ котораго пароходъ выйдетъ изъ Стокгольма въ Финляндію, вѣроятно, 27 марта и на пути зайдетъ на Богшерскій маякъ.

---

ПРАКТИЧЕСКІЯ  
ЗАМѢТКИ ПО ИЗЫСКАНІЯМЪ

ДЛЯ  
ЖЕЛѢЗНЫХЪ ДОРОГЪ И КАНАЛОВЪ.

---

СОСТАВИЛЪ  
**Н. ТИХАНОВЪ.**



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Типографія Ю. Н. Эрликъ, Садовая, № 9.  
1890.

Печатано по распоряженію Института инженеровъ путей сообщенія  
Императора АЛЕКСАНДРА I.

# О Г Л А В Л Е Н І Е.

## Г л а в а 1-я.

Введение . . . . .	5
--------------------	---

стр.

## Г л а в а 2-я.

Выборъ направленія линіи по картѣ. Начальный и конечный пувкты; возможные между ними варианты. Сравненіе вариантовъ по длинѣ, количеству предполагаемыхъ работъ и по экономическому значенію районовъ. Составленіе предварительной профили по даннымъ карты. Опредѣленіе количества мостовъ и ихъ размѣровъ, руководствуясь опредѣляемыми по картѣ бассейнами . . . . .

	8
--	---

## Г л а в а 3-я.

Рекогносцировка выбраннаго направленія; вспомогательные инструменты: буссоль, анероидъ, шагомѣръ. Начертаніе профили уклоновъ по барометрическимъ даннымъ. Общія замѣчанія для равнинныхъ и горныхъ участковъ. Особенности рекогносцировокъ для каналовъ . . . . .

	12
--	----

## Г л а в а 4-я.

Инструментальная разработка линіи изысканій: провѣшиваніе линіи, прямая и кривыя части ея, углы. Теодолитъ, какъ средство проектированія линіи на мѣстѣ. Журналь . . . . .

	18
--	----

## Г л а в а 5-я.

Промѣръ. Пикеты, точки, промѣръ кривыхъ, обозначеніе начала и конца кривыхъ. Журналь промѣра . . . . .

	30
--	----

**Г л а в а 6-я.**

Нивелировка. Нивелиръ и рейки, провѣрка инструмента, установка нивелира между пикетами и выборъ точекъ стоянія. Взгляды передній и задній, средніе взгляды. Скорость работы и зависимость ея отъ быстроты переходовъ. Необходимость немедленнаго вычисления отмітокъ. Нарачиваніе реекъ. Журналь. Составъ партіи нивелирующаго. Поперечная нивелировка . . . . . 33

**Г л а в а 7-я.**

Составленіе профили. Повѣрка и дополненіе вычисленій отмітокъ нивелировки. Составленіе плана въ масштабѣ 0,0001 для проектированія измѣнснѣй направленія, если таковыя потребуются . . . . . 40

**Г л а в а 8-я.**

Сбереженіе и починка инструментовъ . . . . . 42

**Г л а в а 9-я.**

Составъ партіи, количество рабочихъ. Средство передвиженія багажа: повозки, вьюки конные и верблюжьи, ручная переноска багажа. Питаніе, палатки, одежда. Необходимыя предосторожности для сохраненія здоровья. Змѣи и вредныя насекомыя. Ходъ дневной работы. 47

**Г л а в а 10-я.**

Пересѣченіе рѣкъ и сухихъ руслъ. Назначеніе полосы отчужденія. Исслѣдованіе источниковъ для водоснабженія. Карьеры камня и балласта. Свѣдѣнія о строительныхъ матерьялахъ. Дополнительные замѣтки къ производству окончательныхъ изысканій. Исполнительная профиль, реперы и угловые столбы. Возобновленіе кривыхъ во время постройки. Скорость работы по окончательнымъ изысканіямъ . . . 51

Милостивый Государь

Михаилъ Николаевичъ!

Вызванный на составленіе этихъ практическихъ замѣтокъ лестнымъ для меня вниманіемъ Вашего Превосходительства, я поставилъ себѣ задачей изложить тѣ приемы работы, которые постепенно выработались въ теченіи двадцатипятилѣтней практики моею по изысканіямъ. На первыхъ же страницахъ составленія замѣтокъ я, съ нѣкоторымъ смущеніемъ, увидаль, что мнѣ придется по преимуществу говорить о такихъ мелочахъ, которыя сами собою понятны для всякаго технически образованнаго работника. Можетъ быть это было бы достаточной причиною, чтобы признать свою некомпетентность въ дѣлѣ критическаго обзора практики изысканій, но, припоминая тѣ указанія, которыя мною получены въ разное время отъ лицъ, имѣющихъ несомнѣнный техническій авторитетъ, какъ М. А. Даниловъ, В. А. Панаевъ, и Б. И. Статковскій, и которыя, до нѣкоторой степени, согласованы мною въ распредѣленіи приемовъ работы, причемъ нѣкоторые мелкіе приемы практически выработаны мною лично, я приступилъ къ возможно полному и систематическому обзору практическихъ мелочей, изъ которыхъ слагается практика дѣла такой первостепенной важности, какъ изысканія.

Вмѣстѣ съ этимъ позвольте Вамъ, Ваше Превосходительство, высказать нѣкоторые мои взгляды на дѣло изысканій, о которыхъ не мѣсто было говорить въ практическихъ замѣткахъ.

Каковы бы ни были указанія и правила, я не могу не засвидѣтельствовать на основаніи личнаго опыта, что успѣхъ всякой работы, а тѣмъ болѣе такой, какъ работа по изысканіямъ, въ значительной мѣрѣ зависитъ отъ возможно-безпристрастной критики соб-

ственной работы. Большинство ошибокъ получается отъ недостаточности или утомленія вниманія въ мелочахъ, и отъ недостаточнаго обсужденія результатовъ работы въ общемъ; поэтому, въ дѣлѣ такой сложности какъ изысканія, гдѣ надо выбирать наилучшее рѣшеніе задачи изъ многихъ возможныхъ ея рѣшеній, трезвая и безпристрастная критика логическихъ построеній есть главное условіе удачи.

Иногда весьма свѣдущіе люди, желая избѣжать возможной ошибки, прѣмѣняютъ къ изысканіямъ обычный методъ дедуктивнаго сужденія; но собранный ими матеріалъ, въ видѣ нивелировокъ, продольныхъ и поперечныхъ, и промѣровъ, достаточныхъ для составленія плановъ съ горизонталями, даетъ такую массу свѣдѣній для сужденія, что возможность найти наилучшее рѣшеніе задачи находится въ тѣхъ же условіяхъ, какъ и при непосредственномъ разсмотрѣннн самой мѣстности. Поэтому всегда лучше изучать мѣстность въ ея настоящемъ масштабѣ, чѣмъ изучать ея точный планъ, роль котораго всегда останется въ границахъ второстепеннаго пособія. Такое предпочтеніе плана можетъ быть объяснено привычкою къ кабинетной работѣ; но условія работы изысканій требуютъ привычки къ сужденіямъ о мѣстности, непосредственно наблюдаемой живымъ глазомъ. Этимъ устраняется масса ненужныхъ условностей, и при нѣкоторомъ навыкѣ къ работѣ въ полѣ, она имѣетъ то огромное преимущество, что построенія мысли, дѣлаемая индуктивно, могутъ быть смѣняемы одиѣ другими безъ непроезводительной затраты времени.

Въ практическихъ задачахъ каждый, разумѣется, съ помощью труда и знаній, можетъ получать ихъ правильное рѣшеніе; но при этомъ естественно желать, чтобы рѣшеніе получилось съ возможно меньшей затратой труда и времени. Если неоспоримо, что каждый работающій долженъ самостоятельно выработать въ себѣ способность преодолевать трудности работы, то чужой опытъ, хотя бы и ошибочный въ основаніи, можетъ быть указаніемъ, насколько и куда должно отклоняться отъ него направленіе нашего усилія въ достиженіи цѣли, и, можетъ быть, въ такой же мѣрѣ полезными будутъ и мои практическія замѣтки.

Практика изысканій не есть ремесло, характеристическій признакъ котораго заключается въ томъ, что при соблюденіи однихъ и тѣхъ же приѣмовъ работы получаютъ одинаковые результаты; сложность въ комбинаціяхъ данныхъ, которыя надо согласовать при произ-

водствѣ изысканій, ставятъ изысканія на ряду съ архитектурическими искусствами.

Работа по изысканіямъ требуетъ нѣкоторыхъ личныхъ особенностей, которыя выражаются вопервыхъ хорошимъ зрѣніемъ, сильнымъ и способнымъ различать тонкіе свѣтовые эффекты; затѣмъ, со стороны интеллектуальныхъ качествъ, должна быть развита способность ассоціровать наблюдаемые факты съ другими, извѣстными ранѣе; воображеніе должно быть дѣятельнымъ настолько, чтобы даннымъ комбинаціямъ всегда являлись соотвѣтствующія отношенія; наконецъ, производитель изысканій долженъ любить свое дѣло настолько, чтобы строго провѣрять свои выводы и никогда не считать избранное рѣшеніе непогрѣшимымъ, а всегда только лучшимъ изъ найденныхъ.

Разсматривая изысканія въ томъ видѣ, въ какомъ онѣ практикуются у насъ, я не могу не замѣтить, что производство ихъ рѣдко выполняетъ главное условіе усѣшности работы,—это предварительное изслѣдованіе мѣстности соотвѣтствующими рекогносцировками. Такое упущеніе въ большинствѣ случаевъ ведетъ къ значительному измѣненію изслѣдованной изысканіями линіи передъ самой постройкой, часто тогда, когда время чрезвычайно дорого для выколненія работы по сооруженію пути; между тѣмъ, при работахъ по предварительнымъ изысканіямъ, часто бываетъ обращено все вниманіе на детальное изслѣдованіе одной линіи, выбранной безъ достаточной критики, въ то время, когда многія возможныя направленія остаются технически необслѣдованными. Вообще въ дѣлѣ сооруженія путей изысканія должны играть болѣе самостоятельную роль, такъ какъ то время, въ которое для строителей иногда было выгодноѣ держаться линіи, неразработанной или плохо задуманной, и иногда по соображеніямъ, не имѣющимъ никакого отношенія къ технике, повидимому уже прошло, и въ дѣлѣ постройки путей настало время руководствоваться болѣе рациональными приемами.

Переходя къ частностямъ дѣла, я попрошу позволенія обратить вниманіе Вашего Превосходительства на тотъ фактъ, что большинство молодыхъ инженеровъ относится къ практикѣ дѣла съ нѣкоторымъ пренебреженіемъ и поэтому между ними рѣдко встрѣчается отчетливое практическое знакомство съ инструментами; между тѣмъ въ дѣлѣ изысканій это вопросъ первостепенной важности, и въ обращеніи съ инструментами тутъ нужна нѣкоторая степень виртуозности.

о чем мною сказано болѣе подробно при описаніи работы съ теодолитомъ и нивеллиромъ. Инструментъ не есть орудіе ремесла, — это есть орудіе къ добыванію тѣхъ фактовъ, которые необходимы для яснаго сужденія. Въ самомъ устройствѣ и приспособленія инструментовъ къ потребностямъ техническихъ работъ могло бы найтись для образованныхъ техниковъ обширное поле дѣятельности, такъ какъ производство инструментовъ, за немногими исключеніями, находится въ рукахъ людей невѣжественныхъ, или, по крайней мѣрѣ, плохо соображающихъ требованія, которыя предъявляетъ къ инструментамъ практика дѣла.

Вмѣстѣ съ практическими замѣтками, я прошу Ваше Превосходительство разсмотрѣть и прилагаемое мною описаніе фотогеодезическаго способа, на разработку котораго мною потрачено нѣкоторое количество усилій. Предлагаемый при этомъ инструментъ, задуманный мною и выполненный по моимъ чертежамъ, который, по сходству, я называю перспективилемъ кипрегелемъ, я прошу Ваше Превосходительство помѣстить въ Музеумъ Института П. С. Смѣю надѣяться, что изъ молодыхъ инженеровъ найдется не мало остроумныхъ работниковъ, которые поставятъ этотъ способъ работы на практическую почву; лично же я не имѣю для дальнѣйшихъ опытовъ достаточно матеріальныхъ средствъ, и притомъ счютаю, что въ основаніяхъ дѣло это разработано мною настолько, что осталось далѣе примѣнять къ нему безошибочный коррективъ совмѣстнаго труда.

Надѣюсь что Вы, Ваше Превосходительство, не откажетесь высказать Вамъ мнѣніе о написанныхъ мною замѣткахъ, которое для меня будетъ весьма дѣнно, какъ мнѣніе о моей работѣ лица такой высокой технической авторитетности.

*Н. Тихановъ.*

## ГЛАВА I.

### В в е д е н и е.

Бросая взглядъ на прошлое сооруженія нашихъ желѣзныхъ дорогъ, не трудно замѣтить, что вопросъ объ изысканіяхъ является далеко не на первомъ мѣстѣ. Отчасти вслѣдствіе новизны дѣла, отчасти благодаря неправильности всего хода сооруженія дорогъ, которыя возникали иногда случайно во почину ловкаго концессіонера, сдѣлано было столько упущеній въ разработкѣ вопроса о направленіи рельсовыхъ путей, вообще относительно территоріальныхъ условій проведенія линій, и въ частности, относительно детальной разработки ихъ направленія, какъ наибыводнѣйшаго по количеству работъ, — что въ наше время все это можетъ служить какъ громадная наглядная несообразность.

Самая мѣстность Европейской Россіи, не представляя значительныхъ естественныхъ препятствій въ любомъ направленіи, пріучила строителей того времени смотрѣть на изысканія какъ на дѣло легкое, снѣжное и не головоломное. Линіи въ большинствѣ случаевъ прокладывались по водораздѣламъ, въ Средней Россіи широкимъ и ровнымъ, въ обходъ овраговъ и рѣчекъ, и такое проведеніе линій было бы тамъ наилучшимъ, если-бы часто и бесполезно не удлиняло ихъ. Такъ постепенно укоренялось временное поклоненіе водораздѣламъ до того, что когда линіи путей ушли изъ предѣловъ верховій рѣкъ въ область южныхъ долинъ, гдѣ водораздѣлы не представляютъ того приволья какъ въ Средней Россіи, тамъ водораздѣльныя линіи бросающіеся въ глаза анахронизмомъ сохранились, хотя проведеніе ихъ долинами было-бы выгоднѣе.

Въ слѣдующій періодъ выступаютъ на сцену такъ называемыя казенныя изысканія, на основаніи которыхъ и выдавались концессіи.

Въ это время практика изысканій подвинулась уже на столько, что для концессионеровъ, благодаря болѣе умѣренной расцѣнкѣ на всѣ работы, явилось выгоднымъ болѣе тщательное производство изысканій, и не трудно подобрать цѣлый букетъ примѣровъ, въ который войдутъ пыльные цвѣты миллионныхъ сбереженій, достигнутыхъ изысканіями. Разумѣется, эти цвѣты достались какъ премія предпринимателямъ и болѣею частью израсходованы непроизводителью; но осталась та несомнѣнная выгода, что не затрачено непроизводителью большое количество народнаго труда. Правда, иногда подобныя сокращенія давали линію, существенныя достоинства которой принесены были въ жертву дешевизнѣ постройки, — но навыкъ къ болѣе тщательной работѣ остался, и надо было только заключить его примѣненіе въ болѣе разумныя границы.

Но дѣло изысканій не ограничивается выборомъ наивыгоднѣйшаго проложенія линіи въ данной мѣстности; это имѣетъ свою цѣнность, — но еще болѣе важно выбрать самое направленіе линіи, и, рассматриваемыя съ этой стороны, наши желѣзно-дорожныя линіи даютъ немного примѣровъ, въ которыхъ направленіе линіи было обсуждено всесторонне, безъ лишней торопливости и безъ предвзятыхъ взглядовъ. Оставляя въ сторонѣ линіи стратегическія, которыя строятся по заданію, не подлежащему обсужденію, — относительно линій, имѣющихъ экономическое значеніе, нельзя не замѣтить, что въ общемъ болѣе хлопочутъ о ихъ сооруженіи гдѣнибудь и какънибудь, чѣмъ о наивыгоднѣйшемъ направленіи ихъ.

Разсматриваемыя независимо отъ постройки и той административной системы, которая для нея принята, изысканія требуютъ такого-же единства въ руководствѣ ими, какъ и въ каждомъ практическомъ дѣлѣ, будь это техническое производство, или коммерческое пренріятіе. Задумываетъ ли проведеніе какойнибудь дороги отдѣльное лицо или компетентное коллегіальное учрежденіе, планъ производства изысканій долженъ быть разработанъ возможно тщательно. Затѣмъ, на самыя изысканія нельзя смотрѣть только какъ на матеріалъ для предварительнаго сужденія о трудностяхъ въ постройкѣ; онѣ должны дать полную картину условій постройки линіи и ясно опредѣлить ту роль, какую будетъ играть сооружаемый путь въ экономической жизни края, по которому онъ проходить, и какія вѣроятныя измѣненія могутъ въ ней воспослѣдовать послѣ его прове-

денія. Задача эта довольно трудна, и во многомъ ея рѣшеніе будетъ гадательнымъ; но для правильнаго освѣщенія дѣла надо принять во вниманіе и такія гадательныя предположенія, которыя, во всякомъ случаѣ, основываются на вѣроятности.

Далѣе будутъ приведены собственно техническія подробности изысканій и тѣ практическія указанія, которыя необходимы для полевой работы; здѣсь-же предстоитъ рассмотретьъ ту предварительную работу, которая основывается на изученіи картъ, статистическихъ свѣдѣній, а также климатическихъ, геологическихъ и орографическихъ условій страны, въ которой предполагается проведеніе пути.

Почти для всей Европейской Россіи имѣются у насъ превосходныя топографическія карты, въ масштабѣ 3 версты въ дюймѣ, кромѣ Московской губерніи, для которой карты составлены въ масштабѣ 2 версты въ дюймѣ. Карты эти составлены замѣчательно точно, на нихъ указано не мало высотъ, и если имъ можно сдѣлать въ этомъ отношеніи какойнибудь упрекъ, то это недостаточность показаній высотъ въ наиболѣе пониженныхъ точкахъ, напримѣръ уровней рѣчныхъ долинъ. Помимо огромнаго технического значенія, это было-бы полезно и въ стратегическомъ отношеніи, такъ какъ для полной характеристики края весьма важно знать наибольшія разности высотъ. Разумѣется, такое упущеніе оправдывается ходомъ топографической работы, — но дополненіе картъ въ этомъ отношеніи было-бы весьма желательнымъ. Затѣмъ, для восточныхъ губерній начиная съ Тверской, Владимірской, Рязанской, Тамбовской и Воронежской, къ востоку и сѣверовостоку отъ нихъ, имѣются карты въ масштабѣ 10 верстъ въ дюймѣ, которыя доходятъ до восточной окраины Урала и останавливаются на границахъ Сибири. Кромѣ того, въ восточной части Урала были топографическія съемки заводскихъ дачъ, но безъ общей связи, и по этимъ брульонамъ составлены карты въ масштабѣ 5 верстъ въ дюймѣ. Далѣе, для Сибири и сопредѣльныхъ съ нею странъ существуетъ карта въ масштабѣ 100 верстъ въ дюймѣ.

Кавказъ съ прилегающими къ нему частями Азіатской Турціи и Персіи снятъ топографически въ масштабѣ 5 верстъ въ дюймѣ, также съ показаніемъ высотъ, — но такой малый масштабъ, въ чрезвычайно пересѣченной мѣстности, далъ карты не вполне удовлетворительныя. Для нѣкоторыхъ мѣстъ Кавказа имѣются карты боль-

шаго масштаба, но въ продажѣ ихъ нѣтъ и добывать ихъ можно только по особой рекомендаціи.

Для Закаспійской области имѣются такія-же карты какъ и для Кавказа, т. е. въ масштабѣ 5 верстъ въ дюймѣ; кромѣ того, для Мервскаго оазиса была съемка въ масштабѣ 1 верста въ дюймѣ.

Карта Туркестанскаго военнаго округа составлена въ масштабѣ 20 верстъ въ дюймѣ и въ нее включены сопредѣльные страны: часть Китайскихъ и Индійскихъ владѣній, Афганистанъ и Персія.

Этимъ почти исчерпывается наше картографическое богатство, и хотя сдѣлано уже много, остается надѣяться, что 3-хъ верстная топографическая съемка будетъ распространена и на окраины.

## ГЛАВА II.

**Выборъ направленія линіи по картѣ. Начальный и конечный пункты; возможные между ними варианты. Сравненіе вариантовъ по длинѣ, количеству предполагаемыхъ работъ и по экономическому значенію районовъ. Составленіе предварительной профили по даннымъ карты. Опредѣленіе количества мостовъ и ихъ размѣровъ, руководствуясь опредѣляемыми по картѣ бассейнами.**

Когда возникло предположеніе о проведеніи пути въ извѣстномъ направленіи, то, если имѣются для этой мѣстности карты, хотя бы и малаго масштаба,—направленіе это должно быть первоначально изучено по картѣ. Важно выяснитъ, гдѣ пройдетъ прямая линія между двумя избранными пунктами, какой районъ его можетъ быть захваченъ и какія препятствія къ сооруженію линіи могутъ встрѣтиться, судя по указаніямъ карты, какъ то: пересѣченія рѣкъ, горныхъ хребтовъ, и пр. Такія указанія, хотя бы и не многочисленныя, даютъ первую степень къ выясненію всѣхъ условій предстоящаго рѣшенія задачи.

Обыкновенно проведеніе путей предполагается или между промышленными центрами для обмѣна; или какъ выходъ изъ какого нибудь замкнутаго недостаточностью путей сбыта производительнаго района; или между двумя рѣчными системами, по которымъ возможно движеніе грузовъ, но каковыя разобщены; или для соединенія двухъ

желѣзнодорожныхъ сѣтей; для сокращенія длины пробѣга; или для пересѣченія горныхъ хребтовъ, раздѣляющихъ часто страны съ различной земледѣльческой и иной культурой. Проведеніе путей также не всегда производится только тамъ, гдѣ готовые грузы ожидаютъ такого сооруженія; большинство нашихъ дорогъ построены если не прямо съ цѣлью развить производительныя силы ихъ районовъ, то, тѣмъ не менѣе, оказали на пересѣкаемыя ими страны значительное вліяніе, перевѣсившее скоро первоначальныя побужденія къ ихъ сооруженію.

Весьма полезно, кромѣ кратчайшаго направленія, нанести на карту и всѣ возможные варіанты его для сравненія какъ относительно ихъ длины, такъ и иныхъ замѣтныхъ различій. Обсужденіе линій по картѣ и письменнымъ источникамъ есть изысканія передъ изысканіями, и всегда приводитъ къ правильной выработкѣ плана этой работы. Длину линій, по данному масштабу, измѣряютъ циркулемъ, но, для сравненія, лучше измѣрять съ помощью мало растяжимой нити и булавочъ, которыя втыкаются по картѣ въ мѣстахъ изгибовъ линій и затѣмъ нить натягивается по нимъ съ одинаковымъ напряженіемъ для каждаго изъ сравниваемыхъ направленій. Есть и специально приспособленный для этого инструментъ, устроенный въ видѣ небольшого колеса, надѣтаго нарѣзкой на винтъ, и когда указатель ведутъ по подлежащей линіи, то въ тоже время колесо катится и передвигается по нарѣзкѣ винта; чтобы узнать затѣмъ длину пройденной колесомъ линіи, достаточно заставить его катиться въ обратномъ направленіи вдоль края линейки и тогда длина линіи можетъ быть измѣрена наложеніемъ масштаба.

Когда опредѣлены нѣсколько линій и ихъ протяженіе по масштабу измѣрено, слѣдуетъ опредѣлить частныя протяженія до различныхъ пунктовъ, обозначенныхъ на картѣ; это необходимо для составленія наглядной схематической профили линіи въ маломъ горизонтальномъ масштабѣ, хотя бы въ томъ, въ какомъ имѣются карты. Составленіе такихъ профилей не затруднительно, но приносить, по своей наглядности, много пользы какъ при сравненія варіантовъ, такъ и для составленія идеи о предстоящихъ трудностяхъ по проиаводству реконспировокъ и изысканій инструментальныхъ. Если на картѣ нѣтъ высотъ, то можно искать ихъ въ описаніяхъ данной мѣстности; если въ литературѣ предмета не найдется на это указаній,

то можно руководствоваться общими указаніями на конфигурацію страны. Рекогносцировки опредѣляютъ эти высоты точнѣе; для схемы же достаточно и простого чередованія, съ надлежащими разстояніями, возвышенныхъ и пониженныхъ точекъ.

Въ большинствѣ мѣстъ Европейской Россіи разность высотъ колеблется для рѣкъ и водораздѣловъ отъ 25 до 100 саж., болѣе въ Южной Россіи, какъ напримѣръ въ мѣстахъ прохожденія Донецкаго кража, и менѣе въ мѣстахъ истока великихъ водныхъ системъ.

Можно положить общимъ правиломъ, что по всей Европейской Россіи уклоны лній не должны превышать 0,01; если же въ немногихъ случаяхъ и допущены болѣе крутые уклоны, то или вслѣдствіе спѣшности сооруженія, или по соображеніямъ такого порядка, который не допускаетъ возможности считать эти исключенія примѣромъ. Иное дѣло въ горныхъ мѣстахъ, какъ на Кавказѣ, гдѣ предѣльнымъ уклономъ можно считать уклонъ въ 0,025 или  $\frac{1}{40}$ ; примѣры уклоновъ болѣе крутыхъ существуютъ и тамъ,—такъ на Сурамскомъ перевалѣ Закавказской ж. д. долгіе годы существовалъ официально обозначенный уклонъ въ 0,045, а на дѣлѣ превыпавшій 0,047; но вообще, при правильномъ развитіи пути, въ большинствѣ случаевъ можно ограничиться предѣльнымъ уклономъ въ 0,01 для лній равнинныхъ и низовій долинъ, и въ 0,025 для горныхъ участковъ. Какую длину при этомъ получить намѣченная линия, приблизительно можно опредѣлить только по опредѣленіи высоты подъемовъ; но знаніе возможнаго уклона даетъ уже основаніе для предположеній объ условіяхъ сооруженія и характерѣ движенія по предполагаемому пути.

Вмѣстѣ съ составленіемъ профили по даннымъ карты, слѣдуетъ опредѣлить также бассейны рѣкъ, пересѣкаемыхъ линіей, а по нимъ опредѣлить размѣры мостовъ, которые встрѣятся по линіи. Для опредѣленія отверстій мостовъ на основаніи бассейновъ, существуетъ таблица, составленная инженеромъ М. А. Данпловымъ эмпирически для рѣкъ Средней Россіи, на основаніи практики существующихъ мостовъ, при чемъ отверстіе моста находится въ зависимости отъ особаго коэффиціента, который тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе бассейнъ. Такое опредѣленіе размѣровъ сооруженія требующее при окончательныхъ изысканіяхъ болѣе точныхъ данныхъ,—для предварительныхъ соображеній дастъ вполне удовлетворительные результаты. Что же касается

до горныхъ мѣстностей, то коэффициенты, указанные въ этой таблицѣ должны быть удвоены, а въ мѣстахъ гдѣ бассейны располагаются по крутымъ горнымъ склонамъ, увеличеніе коэффициента должно быть значительно большее и вообще примѣнять эту таблицу надо съ большою осторожностью. При этомъ можно считать, что въ горныхъ линияхъ, кромѣ мостовъ на большихъ потокахъ, слѣдуетъ еще считать не менѣе одной сажени отверстія на каждую версту пути.

Малое развитіе у насъ географической науки, болѣе заинтересованной грандіозными задачами обслѣдованія мало извѣстныхъ странъ, противъ чего, разумѣется, нельзя возражать какъ по идеѣ самой науки, такъ и по великому государственному значенію такихъ изслѣдованій, дѣлаетъ чрезвычайно труднымъ ознакомленіе съ намѣченной внутри государства территоріей по письменнымъ о ней свѣдѣніямъ. Свѣдѣнія по конфигураціи, напрямѣрь, Окскаго бассейна найти не легче, чѣмъ свѣдѣнія о хребтѣ Гиндуку или Антитавра. Между тѣмъ, результаты изысканій для дорогъ, произведенныхъ въ Россіи, разработанные критически, могли бы дать не мало общепользныхъ свѣдѣній и послужить матеріаломъ къ составленію обшрнаго географическаго труда, который захватилъ бы собою почти всю территорію Европейской Россіи.

Что же касается экономической стороны дѣла, то въ этомъ отношеніи сдѣлано не мало интересныхъ изслѣдованій какъ земствомъ, такъ и отдѣльными лицами, хотя и тутъ многого еще можно желать.

Слѣдуетъ замѣтить, что обычное движеніе грузовъ, въ долгій періодъ времени направлявшееся въ одну сторону, съ проведеніемъ улучшеннаго пути можетъ измѣниться радикально, и часто экономическіе центры, имѣвшіе при первобытныхъ путяхъ большое мѣстное значеніе, теряютъ его съ проведеніемъ желѣзной дороги; обратно, возникаютъ новые центры въ мѣстахъ, имѣвшихъ прежде ничтожное значеніе. Вообще при назначеніи направленія линіи, можно принять за правило, что всегда важнѣе геометрической центр мѣстной производительности, чѣмъ торговый центр, хотя при этомъ требуется особая осторожность, потому что въ странахъ съ слабо развитою производительностью, такой крупный факторъ, какъ проведеніе новаго пути вызываетъ поразительныя переизмѣненія всего строя экономической жизни. Такъ на Югѣ Россіи, съ проведеніемъ желѣзныхъ дорогъ развилось земледѣльческое хозяйство въ ущербъ скотоводству, и такъ

возникло въ теперешнихъ размѣрахъ каменно-угольная промышленность и возникаютъ тамъ же желѣзодѣлательные заводы, существованіе которыхъ безъ улучшенныхъ путей было бы невысказуемо.

### ГЛАВА III.

Реконструкция выбраннаго направленія; вспомогательные инструменты: бусоль, анероидъ, шагомѣръ; начертаніе профили уклоновъ по барометрическимъ даннымъ. Общія замѣчанія для равнинныхъ и горныхъ участковъ. Особенности реконструкціи для каналовъ.

Когда на картѣ, соображаясь съ экономическими и географическими условіями данной страны, выбрано одно или нѣсколько направленій предполагаемой желѣзной дороги или иного пути, то прежде, чѣмъ приступить къ точному инструментальному изслѣдованію этихъ направленій, для избѣжанія бесполезной траты труда и времени, необходимо добыть нѣкоторые цифровыя данныя высотъ, частныхъ разстояній, и составить себѣ понятіе о величинѣ радиусовъ при поворотахъ линіи и ея уклоновъ. Разумѣется точное опредѣленіе характера линіи выяснится только тщательнымъ инструментальнымъ изслѣдованіемъ; но зная данныя, которыхъ слѣдуетъ держаться при проектированіи линіи на мѣстѣ, это значитъ выполнить работу вдвое скорѣе, чѣмъ опредѣляя ихъ во время производства изысканій; къ тому же, уклоны при этомъ могутъ быть распределены правильно, т. е. или быть сосредоточены на одномъ или нѣсколькихъ смежныхъ перегонахъ, или распределены на большое протяженіе для уменьшенія крутизны предѣльнаго подъема, если это позволитъ мѣстность, по которой предполагается проложеніе пути.

Въ мѣстахъ равнинныхъ, какъ большинство мѣстностей Европейской и частью Азіатской Россіи, предварительное изслѣдованіе не представляетъ особенныхъ трудностей; достаточно иногда опредѣлить относительныя высоты между долинами рѣкъ и возвышенностями водораздѣловъ, чтобы трудности работъ выяснились вполне. Будетъ-ли выбрана линія по водораздѣлу, какъ это сдѣлано для большинства Средне-Русскихъ желѣзныхъ дорогъ, или долинами, какъ это часто имѣетъ мѣсто среди Южно-Русскихъ дорогъ, препятствіе, какое мо-

жесть встрѣтиться, опредѣляется или переходами съ одного частнаго водораздѣла на другой, или изъ одной долины въ другую; ирпзатомъ крутизна поворотовъ не имѣеть рѣшающаго значенія какъ въ горныхъ линіяхъ, такъ что остается опредѣлить только относительную высоту данныхъ пунктовъ. Эта высота опредѣляется преимущественно съ помощью барометра. Когда барометрическая нивелировка производится непрерывно на большомъ иротяженіи, то необходимо принимать во вниманіе пзмѣненіе показаній барометра, происходящее отъ измѣненія давленія атмосферы; тогда надо работать съ двумя барометрами, имѣющими совершенно одинаковый ходъ, причеиъ одинъ наблюдатель остается на мѣстѣ въ точкѣ отправления другого наблюдателя, и записываетъ показанія барометра чрезъ опредѣленные промежутки времени, въ то время какъ ѣдущій по линіи и наблюдающій измѣненія показаній барометра въ зависимости отъ высоты точки наблюденія такъ и отъ атмосферическаго давленія каждое наблюденіе долженъ обозначать какъ по мѣсту, такъ и по времени производства наблюденія.

Согласуя оба ряда наблюденій, къ найденной высотѣ прибавляютъ или отъ нея отнимаютъ ту величину, какая получилась отъ показаній неподвижнаго барометра. Такое, возможно точное, барометрическое нивелированіе бываетъ нужно только въ исключительныхъ случаяхъ, когда хотятъ избѣжать болѣе цѣнной инструментальной разработки линіи; въ большинствѣ же случаевъ предварительнаго осмотра линіи достаточно показаній одного барометра (разумѣется при спокойномъ состояніи атмосферы, когда ея давленіе не мѣняется быстро); измѣненіе давленій во времяя при этомъ можетъ быть игнорировано, потому что частныя наблюденія высотъ могутъ быть производимы быстро. Такъ напримѣръ, для опредѣленія высоты водораздѣла надъ данной точкой долины, въ равнинной Россіи достаточно смѣрить высоту водораздѣла противъ данной точки, потому что высоты водораздѣловъ, понижаясь или повышаясь, мѣняются весьма слабо, и опредѣленная такимъ образомъ высота не поведетъ къ большой ошибкѣ при опредѣленіи высоты подъема или спуска.

Въ горной мѣстности предварительное изслѣдованіе линіи нѣсколько сложнѣе и требуетъ большаго числа наблюденій, чтобы составить себѣ ясное представленіе о предпринимаемой работѣ. Горныя долины и ихъ склоны, по которымъ преимущественно проектируются рельсовыя или иныя линіи дорогъ, часто представляютъ большое

разнообразіе очертаній, приче́мъ даже опытно́му глазу не всегда удастся опредѣлить относительное значеніе предстоящихъ трудностей. Извилистое очертаніе долинъ и ихъ склоновъ мѣшаетъ правильному сужденію о развитіи уклоновъ, хотя бы и были извѣстны относительныя высоты нѣкоторыхъ пунктовъ. Кроме того, при переходѣ изъ одной рѣчной системы въ другую, большею частью бываетъ нѣсколько переваловъ различной высоты и подходы къ которымъ допускаютъ нѣсколько вариантовъ; при этомъ большую роль играютъ боковыя ущелья, при переходѣ которыхъ иногда полезно вдаваться линіей въ ихъ глубину, приче́мъ является возможность, съ удлиненіемъ линіи, допустить болѣе благоприятныя для движенія уклоны. Иногда же, при достаточной линіи для подъема главной долины, выгоднѣе не заходить въ боковыя ущелья, что даетъ возможность идти низомъ долины, гдѣ ея изгибы менѣе рѣзки чѣмъ въ верху, и допускаетъ поэтому болѣе пологія кривыя. Все́ это несомнѣнно должно быть выяснено предварительнымъ осмотромъ линіи, — но надо имѣть большую опытность, чтобы въ подобныхъ случаяхъ не принять въ руководство ложныхъ выводовъ. Если есть время, — а въ дѣлѣ такой существенной важности какъ изысканія, время всегда должно быть въ избыткѣ, — то лучше пробить въ такихъ трудныхъ мѣстахъ линію съ промѣромъ, опредѣленіемъ поворотовъ углами, и точной нивелировкой. Такая линія, хотя бы и сдѣланная спѣшно, безъ детальной отдѣлки, даетъ матеріалъ для вѣрнаго сужденія о трудностяхъ проектируемой линіи, и потраченная на нее работа съ лихвою вознаградится увѣренностью въ веденіи проектированія линіи, окончательнаго выбранной на мѣстѣ. При этомъ высота переваловъ съ достаточной точностью можетъ быть опредѣлена барометрически, и тогда получится возможность изъ многихъ намѣченныхъ линій выбрать лучшую, такую, преимущества которой передъ всѣми другими рѣзко выражены, т. е. если она изъ всѣхъ возможныхъ кратчайшая, съ болѣе низкимъ переваломъ и съ болѣе благоприятными условіями для допущенія пологіхъ кривыхъ и уклоновъ. Всегда надо имѣть въ виду что болѣе высокій перевалъ, если подходъ къ нему благоприятенъ, иногда съ выгодой можетъ быть прорѣзанъ тоннелемъ, чѣмъ значительно улучшается профиль линіи, благодаря уменьшенію крутизны уклоновъ.

По даннымъ, полученнымъ предварительнымъ осмотромъ, лучше

всего составить себѣ продольную профиль въ сокращенномъ масштабѣ для наглядности соображеній о томъ, гдѣ и какіе уклоны могутъ быть допущены какъ предѣльные. Для опредѣленія горизонтальныхъ разстояній на профили, можно пользоваться или картами, если онѣ достаточно точны, или временемъ передвиженія, когда хотя приблизительно извѣстна его скорость, или же можно пользоваться пригоднымъ для этого небольшимъ инструментомъ шагоизмѣритель, годнымъ не только при ходьбѣ, но и при верховой ѣздѣ, если при этомъ лошадь имѣетъ рѣзко обозначенный аллюръ, какъ это часто встрѣчается у лошадей восточныхъ породъ. Вообще достаточно, если для такой профили будетъ принятъ горизонтальный масштабъ въ 0,00001.

Для составленія предварительныхъ техническихъ условий, соответствующихъ съ цѣлью сооруженія пути, такая предварительная профиль необходима какъ средство связать общія предположенія съ условиями выполненія проекта. Назначенныя безъ соображенія съ мѣстностію техническія условия, какъ желаемыя, могутъ сдѣлать стоимость проведенія предполагаемаго пути чрезмѣрной, и предпріятіе, казавшееся выгоднымъ при среднихъ затратахъ, при ближайшемъ знакомствѣ съ мѣстностію можетъ оказаться невыполнимымъ. Отсюда видно, что всегда выгодно опредѣлять предварительнымъ осмотромъ главныя трудности сооруженія, для избѣжанія непроизводительной затраты технического труда; но при этомъ надо повторить еще разъ, что возможность такого опредѣленія безъ тщательныхъ изслѣдованій является какъ рѣдкое исключеніе. Въ дѣлѣ большой практической важности для всякаго обязательна осторожность въ сужденіи о добытыхъ данныхъ и допущеніе вѣроятнаго существованія факторовъ, ускользнувшихъ отъ наблюденія.

Въ случаѣ предполагаемыхъ изысканій для каналовъ, судоходныхъ или ирригаціонныхъ, предварительный осмотръ мѣстности прохожденія каналовъ и площади, предполагаемой къ орошенію требуетъ еще болѣе тщательности, чѣмъ при проектированіи линіи желѣзной дороги. Слабые уклоны, допускаемые условиями сооруженія каналовъ, невозможность обратныхъ подъемовъ, большая стоимость работъ по пересѣченію могущихъ встрѣтиться долинъ, все это требуетъ особаго вниманія, работы съ точными инструментами, и въ этомъ случаѣ составленіе подробнаго плана мѣстности съ нанесеніемъ горизонталей разумѣется сослужило бы большую службу; но составленіе такого

плана работа настолько цѣнная, что благоразумнѣе ее избѣжать и ограничиться высотами, опредѣленными при помощи anerоидовъ и маршрутной съемкой. Анероиды для этого можно имѣть наибольшей чувствительности, рассчитанные для данной мѣстности въ зависимости отъ ея высоты надъ уровнемъ моря съ предѣлами возможныхъ для данной мѣстности колебаній. Такіе барометры легко показываютъ разность высотъ до полусаженн, но предосторожность, не руководствоваться ими для длинныхъ базисовъ, будетъ не лишней; въ такомъ случаѣ всегда выгоднѣе произвести между конечными пунктами инструментальную пивеллировку.

При выборѣ начальныхъ и конечныхъ пунктовъ судоходнаго канала иногда имѣется нѣкоторая свобода, и прежде всего желательнo опредѣлить крайнія точки, между которыми могутъ быть избраны эти пункты. Въ случаѣ ирригаціонныхъ каналовъ, гдѣ должна быть орошена избранная площадь, начало главнаго питательнаго канала, будь это рѣка, озеро или подземные источники, всегда зависитъ отъ высоты ирригаціонной площади; но такъ какъ на питательныхъ каналахъ, если по нимъ не предполагается также и судоходство, могутъ быть допущены перепады, то отъ низшей начальной точки канала, въ случаѣ, если мѣстность представить къ этому выгоды, начало его можетъ быть перенесено выше. Это вызываетъ необходимость, кромѣ опредѣленія низшей точки соответственными размѣрамъ канала уклонамъ, изслѣдовать мѣстность и выше ея. Выборъ начальной точки канала представляетъ вопросъ первостепенной важности.

Когда, въ случаѣ ирригаціонныхъ цѣлей, начальный пунктъ канала опредѣленъ и извѣстна площадь, которую желательнo оросить, то, по опредѣленіи количества потребной для орошенія воды, составляется предварительный планъ ирригаціи, т. е. рассчитываются размѣры главнаго канала, затѣмъ, по установленнымъ практикой ирригаціи правиламъ, о которыхъ здѣсь говорить излишне, назначаются мѣста выхода второстепенныхъ каналовъ, отъ которыхъ уже отдѣляются разводяще воду по участкамъ третьестепенные каналы. Такимъ образомъ размѣры каналовъ постоянно мѣняются, по мѣрѣ выпуска воды, а вмѣстѣ съ этимъ мѣняются и уклоны каналовъ. Отсюда понятна важность тщательнаго составленія предварительнаго плана ирригаціонной системы, такъ какъ при изысканіяхъ каналы

должны быть проектированы на мѣстѣ съ соответствующими имъ уклонами, иначе выполнение ихъ немислимо.

То же, что было говорено относительно возможно широкой кривки при выборѣ направленія линіи желѣзной дороги, надо имѣть въ виду и для каналовъ, при чемъ вредъ ошибки увеличивается тѣмъ, что начальныи и конечныи пункты канала, также какъ и направленіе его между этими точками, находятся въ постоянномъ соотношеніи.

Примѣромъ ошибокъ въ назначеніи начальныхъ пунктовъ каналовъ можно указать два случая изъ личной практики автора, въ которыхъ ему пришлось производить изысканія по указаніямъ предварительно составленныхъ соображеній.

Первый случай относится къ Кубанской части Даниловскаго судоходно-ирригаціоннаго канала по изысканіямъ 1879 года. По высотамъ, взятымъ съ карты и профили Ростово-Владикавказской желѣзной дороги начальныи пунктъ канала былъ опредѣленъ ниже впаденія Уруца, близъ станціи Армавирь. Высота Кубани въ мѣстѣ отдѣленія канала—около 77 саж. надъ уровнемъ моря. Предполагалось, что питательныи каналъ, оканчиваясь у станицы Григоріополскаго, будетъ находиться на высотѣ водораздѣла Кубани и Маныча, и дальнѣйшее слѣдованіе судоходнаго канала на соединеніе съ каналомъ, предложеннымъ по Манычу, не встрѣтитъ препятствій. На дѣлѣ же водораздѣлъ оказался выше и на значительномъ протяженіи судоходныи каналъ долженъ былъ дѣлать большіе изгибы, чѣмъ линія значительно удлинилась. Можно было бы свободно пренебречь рѣкою Урупомъ, потому что въ то время, когда для канала, съ дѣлюю обводненія, нуженъ избытокъ воды, Кубань бываетъ очень многоводна и въ состояніи удовлетворить потребность въ водѣ для края между Кубанью и Дономъ. Перенеся начало канала выше, можно бы было выйти на водораздѣлъ ранѣе и избѣжать непродуцительныхъ изгибовъ линіи.

Другой случай, также изъ личной практики автора, имѣлъ мѣсто при изысканіяхъ направленія каналовъ въ Мильской степи. По предварительнымъ соображеніямъ пачала двухъ каналовъ, линіи которыхъ было поручено автору опредѣлить на мѣстѣ, были указаны: одного, верхняго, у Мараджанлу на Араксѣ, выше поста Мирза-

Мехталинскаго, а другого у Вейсалы, близь Заргера. Изысканія производились по направленію обоихъ главныхъ каналовъ, съ вѣтвями. Кромѣ этихъ двухъ главныхъ каналовъ въ проектъ вошло предложеніе о проведеніи еще двухъ каналовъ ниже по теченію Аракса, но изысканія по нимъ не производились. Проведеніе второго канала, Вейсалинскаго, не представило никакихъ особенностей, такъ какъ каналъ проходитъ по равнинѣ съ слабымъ уклономъ, достаточно далеко отъ предгорій. Первый каналъ, Мараджанлинскій, начатый очень высоко, слѣдуя уклону, скоро прижался къ предгоріямъ отроговъ Карабахскихъ горъ, затѣмъ перешелъ въ косогоръ, и далѣе, на протяженіи около 75 верстѣ долженъ былъ огибать отроги возвышенностей, при чемъ получилось значительное удлиненіе и очень крупныя работы, и самое проведеніе изъ него второстепенныхъ каналовъ, требуя очень многихъ перепадовъ, было бы затруднительнымъ. Такимъ образомъ выяснилось впервыхъ, что начало этого канала было взято слишкомъ высоко, вслѣдствіе незнанія конфигураціи склоновъ по его дальнѣйшему пути, а во вторыхъ то, что вмѣсто проектированія этихъ двухъ каналовъ выгоднѣе было назначить одинъ каналъ, проходящій между ними по границѣ предгорій.

#### ГЛАВА IV.

**Инструментальная разработка линіи изысканій: провѣшиваніе линіи, прямыя и кривыя части ея, углы. Теодолитъ, какъ средство проектированія линіи на мѣстѣ. Журналь.**

Провѣшиваніе предположенной къ изслѣдованію линіи является работою наибольшей существенной важности, такъ какъ ею опредѣляется весь ходъ работы, непосредственно слѣдующей за провѣшиваніемъ. Работа эта состоитъ изъ собственно провѣшиванія, т. е. обозначенія на мѣстѣ вѣхами опредѣленнаго направленія линіи, и выбора направленія. Тогда какъ первый родъ работы не представляетъ трудностей, — второй требуетъ постояннаго вниманія, техническихъ знаній и практической опытности. Ошибки въ выборѣ направленія ведутъ за собою бесполезную трату труда на произведеніе промѣра и нивелировки, а это не только потеря времени, но и вредъ для

авторитетности ведущаго провѣшиваніе, такъ какъ неувѣренность въ пригодности работы особенно отражается на нивеллировкѣ, какъ это будетъ указано далѣе.

Самое провѣшиваніе, какъ обозначеніе линіи, производится вѣхами, постоянными или временными. Для тщательнаго провѣшиванія всегда лучше имѣть тщательно изготовленныя вѣхи, толщиною въ дюймъ и длиною въ сажень, съ желѣзными наконечниками и небольшими флагами. Такія вѣхи очень легки и ихъ достаточно имѣть 20 или 25 штукъ, столько, сколько безъ затрудненія можетъ нести одинъ рабочій. Эти переносныя вѣхи оставляются на линіи до тѣхъ поръ, пока не останутся позади нивелирующей партіи, а затѣмъ снимаются, и, въ случаѣ надобности, замѣняются тѣми вѣхами, которыя должны остаться на линіи для ея постояннаго обозначенія. Снятыя особымъ рабочимъ вѣхи подносятся по мѣрѣ накопленія ихъ переднему рабочему, и такимъ образомъ провѣшиваніе идетъ безъ замедленія.

Провѣшиваніе можно производить или теодолитомъ, выставляя за одинъ разъ нѣсколько вѣхъ, начиная съ дальней, или теодолитомъ выставляется только одна вѣха, сажень за пятьдесятъ отъ точки стоянія инструмента, другая становится по отвѣсу на мѣсто самаго инструмента, и затѣмъ уже дальнѣйшее провѣшиваніе по этимъ двумъ маякамъ производится наглазъ, иногда съ помощью бинокля, что, при нѣкоторомъ навыкѣ, даетъ результатъ вполне удовлетворительный въ границахъ практики дѣла. Другая сторона провѣшиванія линіи, выборъ направленія, согласнаго со взятыми въ руководство техническими условіями, требуетъ, вопервыхъ, опытности, въ которой согласовалось бы умѣнье примѣняться къ мѣстности съ знаніемъ потребностей предполагаемаго къ сооруженію пути, а во вторыхъ умѣнье пользоваться соответствующими инструментами. Разсматривая здѣсь только техническія условія работы, оставимъ въ сторонѣ тѣ общія условія ея успѣшности, которыя зависятъ отъ личныхъ свойствъ работающаго. При большой затратѣ энергіи всегда можно добиться хорошихъ результатовъ работы, по указанія, сдѣланныя съ цѣлью экономизировать эту затрату, необходимы потому, что при излишнемъ утомленіи вниманія рѣдко получается отчетливое выполненіе работы. Въ виду этого геодезическіе инструменты, употребляемые во время провѣшиванія, можно разсматривать не только какъ болѣе или менѣе

точные измерительные приборы, но и какъ пособие для болѣе яснаго сужденія тамъ, гдѣ указанія глаза, хотя бы и опытнаго, становятся недостаточными.

Проектированіе на мѣстѣ линіи съ слабымъ уклономъ, близкимъ къ горизонтали, какъ это практикуется при обозначеніи мѣста прохожденія каналовъ, или съ уклонами болѣе крутыми, иногда замѣтными на глазъ, какъ это имѣетъ мѣсто при обозначеніи линіи рельсовыхъ и иныхъ путей, для практической безошибочности определенія требуетъ пособія инструментовъ. Наиболѣе пригоднымъ для этого инструментомъ надо считать теодолитъ, не слишкомъ сложный, но точный и прочно устроенный, и притомъ не особенно тяжелый, чтобы переноска его не утомляла рабочаго.

Практика дѣла показала, что употребленіе теодолита съ цѣлью обозначенія на мѣстѣ линіи съ уклономъ, можетъ дать въ результатѣ значительное ускореніе работы. Примѣромъ такого удачнаго пользованія теодолитомъ изъ практики автора онъ можетъ указать на начало подъема отъ Лорійской возвышенной равнины къ Карагачскому перевалу Мокрыхъ горъ, составляющихъ одну изъ хребтовъ системы Малаго Кавказа, по линіи изысканій отъ Тифлиса на Карсъ и Эривань. На протяженіи первыхъ 15-ти верстъ эта часть хребта представляетъ пологіе, правильные и безлѣсные скаты, на каковыхъ пользованіе теодолитомъ особенно удобно. За день эти 15-ть верстъ были пройдены съ правильнымъ распредѣленіемъ пикетовъ на кривыхъ и предѣльнымъ уклономъ въ 0,025, настолько близко къ этому уклону, что на всемъ протяженіи линіи, съ помѣщеніемъ потребныхъ по техническимъ условіямъ площадокъ, получились ничтожныя земляныя работы.

Полагаться при проектированіи на мѣстѣ уклоновъ на глазъ, основываясь единственно на своей опытности, значитъ придавать слишкомъ большую цѣнность сужденію, не имѣющему точекъ опоры; дожидаться же постоянно результатовъ показаній нивеллира, значитъ работать ощупью, наудачу, какъ бы съ завязанными глазами.

При определеніи вертикальныхъ угловъ теодолитомъ будетъ практически достаточно, если съ помощью его можно определять углы съ точностью до полуминуты, какъ это можно видѣть изъ слѣдующей таблицы, имѣющей практическое примѣненіе.

Таблица угловъ соответствующихъ даннымъ уклонамъ:

Уклонъ.	Уголъ. с / и	Уклонъ.	Уголъ. с / и	Уклонъ.	Уголъ. с / и	Уклонъ.	Уголъ. с / и
0,0001	0 0 20	0,009	0 31 0	0,026	1 29 20	0,043	2 27 40
0,0002	0 0 40	0,010	0 34 20	0,027	1 32 50	0,044	2 31 10
0,0003	0 1 0	0,011	0 37 50	0,028	1 36 10	0,045	2 34 40
0,0004	0 1 20	0,012	0 41 10	0,029	1 39 40	0,046	2 38 0
0,0005	0 1 40	0,013	0 44 40	0,030	1 43 10	0,047	2 41 30
0,0006	0 2 0	0,014	0 48 10	0,031	1 46 30	0,048	2 44 50
0,0007	0 2 20	0,015	0 51 30	0,032	1 50 0	0,049	2 48 20
0,0008	0 2 50	0,016	0 55 0	0,033	1 53 20	0,050	2 51 40
0,0009	0 3 10	0,017	0 58 30	0,034	1 56 50	0,055	3 8 50
0,001	0 3 30	0,018	1 1 50	0,035	2 0 20	0,060	3 26 0
0,002	0 6 50	0,019	1 5 20	0,036	2 3 40	0,065	3 43 10
0,003	0 10 20	0,020	1 8 40	0,037	2 7 10	0,070	4 0 10
0,004	0 13 50	0,021	1 12 10	0,038	2 10 30	0,075	4 17 20
0,005	0 17 10	0,022	1 15 40	0,039	2 14 0	0,080	4 34 30
0,006	0 20 40	0,023	1 19 0	0,040	2 17 30	0,085	4 51 30
0,007	0 24 0	0,024	1 22 30	0,041	2 20 50	0,090	5 8 30
0,008	0 27 30	0,025	1 26 0	0,042	2 24 20	0,095	5 25 40
—	—	—	—	—	—	0,100	5 42 40

Понятно, что пользование этой таблицей возможно только тогда, когда теодолитъ тщательно вывѣренъ и работающій настолько освоился съ этимъ инструментомъ, что обращеніе съ нимъ не представляетъ для него трудностей.

Вмѣстѣ съ проектированіемъ уклоновъ и горизонталей, теодолитъ служитъ и для измѣренія горизонтальныхъ угловъ при поворотахъ линіи, а также и для опредѣленія отстояній недоступныхъ точекъ.

Ограничиваться для измѣренія угловъ употребленіемъ буссоли, какъ совѣтуетъ авторъ чрезвычайно интересной статьи объ изысканіяхъ въ Америкѣ, или гониометромъ, какъ это часто практиковалось при изысканіяхъ въ Россіи, я считаю недостаточнымъ потому, что въ первомъ случаѣ возможны ошибки, кромѣ неточностей показанія стрѣлки еще отъ частыхъ ошибокъ въ наименованіи румбовъ, чему авторъ этихъ практическихъ замѣтокъ могъ бы привести характерные примѣры изъ личной практики, но что очевидно и само собою. Что же касается гониометра, то разъ въ рукахъ имѣется болѣе совершенный инструментъ-теодолитъ, то, несомнѣнно, надо отдать преимущество послѣднему.

Разсмотрѣвъ вопросъ о пригодности теодолита къ обозначенію на мѣстѣ линій съ опредѣленнымъ уклономъ, перейдемъ теперь къ поворотамъ линіи, вызываемымъ изгибамъ мѣстности.

Величина предѣльнаго радіуса закругленій пути опредѣляется мѣстными условіями проведенія пути и назначеніемъ его. На болыпинствѣ нашихъ дорогъ допущенъ предѣльный радіусъ въ 300 сажень; но есть также не мало дорогъ съ предѣльными радіусами въ 150 сажень, а въ горныхъ мѣстахъ съ радіусами въ 80 саж. и менѣе, какъ напр. на Тквибульской каменноугольной дорогѣ допущены предѣльные радіусы въ 60 саж., съ предѣльнымъ уклономъ въ 0,04.

Проектированіе на мѣстѣ кривыхъ частей пути опредѣляется самою мѣстностью, желаніемъ разбить кривую съ возможно большимъ радіусомъ и предѣльнымъ радіусомъ, указаннымъ техническими условіями сооружеія пути. Прежде всего опредѣляется уголъ между двумя пересѣкающимися прямыми и задача состоитъ въ томъ, чтобы между этими двумя касательными вписать кривую опредѣленнаго радіуса. Радіусъ можетъ быть опредѣленъ по наибыгоднѣйшему отстоянію отъ угла серединны кривой (биссектриса), причемъ надо имѣть въ виду, что чѣмъ менѣе радіусъ, тѣмъ вѣроятнѣе уменьшеніе земляныхъ работъ.

Сразу безошибочно помѣстить кривую, особливо въ горной мѣстности, очень трудно; но достаточно пробить одну приблизительно правильно расположенную кривую, чтобы судить о положеніи кривой наибыгоднѣйшей. Практически авторъ выработалъ себѣ слѣдую-

щій способъ разбивки на мѣстѣ кривыхъ при провѣщиваніи линій, который передъ другими способами имѣеть преимущество быстроты при точности, вполне достаточной въ границахъ практики дѣла. Съ точки прямой, опредѣляемой передъ поворотомъ линіи на глазъ, что при нѣкоторомъ навыкѣ не затруднительно, начинается разбивка кривой углами съ тѣмъ расчетомъ, чтобы длина кривыхъ приэтомъ выражалась въ цѣлыхъ числахъ, т. е. была бы въ 10, 15, 20, 25, и т. д. сажень. Если начало кривой при этомъ отъ послѣдняго передъ нимъ пикета опредѣлено также безъ дробныхъ величинъ, какъ-выхъ всегда полезно избѣгать, то выѣстъ съ разбивкой кривой получается и промѣръ; слѣдующая за промѣромъ нивеллировка дастъ указанія въ какой мѣрѣ кривая ляжетъ удовлетворительно. Разбивка ведется съ помощью теодолита и можетъ быть сдѣлана очень точно. Кривая кончается тамъ, гдѣ опредѣленное съ помощью теодолита направленіе совпадаетъ съ уклономъ, который долженъ быть приданъ дальнѣйшему протяженію линіи.

Разбивка кривыхъ ординатами отъ пересекающихся касательныхъ очень медленна, а въ горныхъ мѣстностяхъ иногда и не примѣнима; разбивка хордами отъ начала кривой примѣнима только на открытой и ровной мѣстности; способъ разбивки по касательнымъ, описанный выше, пригоденъ какъ для изысканій по его быстротѣ, такъ и во время постройки дорогъ. На построенныхъ дорогахъ онъ былъ примѣненъ: при окончательныхъ изысканіяхъ послѣдней дистанціи Севастопольской ж. д., на перевальномъ участкѣ Бендеро-Галацкой ж. д. между Карбуной и Скиносой; на послѣднемъ участкѣ Батумской ж. д. по варианту около Цихедвирскихъ высотъ; на окончательныхъ изысканіяхъ Тквибульской ж. д. и по линіи Закаспійской ж. д. отъ Асхабада до Самарканда. На равнинныхъ участкахъ способъ этотъ имѣеть то преимущество, что кривая можетъ быть начата отъ цѣлаго пикета и окончена такъ, чтобы не было дробныхъ частей сажени, допущеніе которыхъ часто ведетъ къ ошибкамъ въ промѣръ, которыя устраняются, такъ какъ промѣръ ведется по касательнымъ одновременно съ разбивкой кривой.

Слѣдующія вспомогательныя таблицы составлены для разбивки кривыхъ по касательнымъ въ предѣлахъ между радіусами въ 50 и 1000 сажень.

Длина дуги.	Центральный уг.	Тангенс.	Биссектриса.	Длина дуги.	Центральный уг.	Тангенс.	Биссектриса.
<b>R = 50.</b>							
$2\pi R = 314,16$							
5	5° 43' 47"	2.501	0.0625	25	20° 27' 40"	12.539	1.131
10	11° 27' 33"	5.002	0.251	30	24° 33' 12"	15.080	1.638
15	17° 11' 20"	7.507	0.568	35	28° 38' 44"	17.627	2.246
20	22° 55' 5"	10.017	1.017	40	32° 41' 16"	20.190	2.957
25	28° 38' 52"	12.528	1.605	45	36° 49' 48"	22.771	3.778
30	34° 22' 40"	15.057	2.338	50	40° 55' 20"	25.373	4.714
35	40° 6' 27"	17.591	3.227	<b>R = 75.</b>			
40	45° 50' 10"	20.136	4.285	$2\pi R = 471,24$			
45	51° 33' 57"	22.694	5.528	5	3° 49' 11"	2.501	0.042
50	57° 17' 44"	25.267	6.976	10	7° 38' 22"	5.003	0.166
<b>R = 60.</b>				15	11° 27' 33"	7.511	0.376
$2\pi R = 376,99$				20	15° 16' 44"	10.025	0.671
5	4° 46' 29"	2.501	0.052	25	19° 5' 55"	12.542	1.054
10	9° 32' 57"	5.002	0.209	30	22° 55' 6"	15.086	1.526
15	14° 19' 24"	7.508	0.472	35	26° 44' 17"	17.636	2.088
20	19° 5' 55"	10.020	0.843	40	30° 33' 28"	20.204	2.748
25	23° 52' 24"	12.534	1.326	45	34° 22' 39"	22.791	3.507
30	28° 38' 52"	15.068	1.925	50	38° 11' 50"	25.401	4.369
35	33° 25' 21"	17.609	2.648	<b>R = 80.</b>			
40	38° 11' 50"	20.163	3.495	$2\pi R = 502,65$			
45	42° 58' 19"	22.733	4.480	5	3° 34' 51"	2.502	0.039
50	47° 34' 48"	25.320	5.571	10	7° 9' 43"	5.003	0.157
<b>R = 70.</b>				15	10° 44' 34"	7.512	0.353
$2\pi R = 439,82$				20	14° 19' 25"	10.026	0.629
5	4° 5' 32"	2.501	0.045	25	17° 54' 7"	12.545	0.988
10	8° 11' 4"	5.002	0.179	30	21° 29' 18"	15.091	1.428
15	12° 16' 36"	7.510	0.403	35	25° 3' 59"	17.645	1.953
20	16° 22' 8"	10.023	0.721	40	28° 38' 50"	20.218	2.566
				45	32° 13' 43"	22.810	3.272
				50	35° 48' 34"	25.472	4.071

Длина кривой.	Центральный уг.	Тангенс.	Биссектриса.	Длина кривой.	Центральный уг.	Тангенс.	Биссектриса.
<b>R = 90.</b>				25	11° 27' 33"	12.570	0.628
<b>2 π R = 565,48</b>				30	13° 45' 4"	15.143	0.905
5	3° 11' 0"	2.502	0.035	35	16° 2' 35"	17.727	1.235
10	6° 21' 59"	5.003	0.140	40	18° 20' 4"	20.340	1.613
15	9° 32' 59"	7.513	0.313	45	20° 37' 35"	22.985	2.052
20	12° 43' 58"	10.030	0.559	50	22° 55' 6"	25.668	2.542
25	15° 54' 58"	12.550	0.875	<b>R = 150.</b>			
30	19° 5' 58"	15.103	1.264	<b>2 π R = 942,48</b>			
35	22° 16' 57"	17.663	1.729	5	1° 54' 35"	2.503	0.021
40	25° 27' 56"	20.242	2.269	10	3° 49' 11"	5.005	0.084
45	28° 38' 56"	22.849	2.888	15	5° 45' 46"	7.521	0.190
50	31° 49' 55"	25.481	3.588	20	7° 40' 21"	10.050	0.336
<b>R = 100.</b>				25	9° 34' 57"	12.584	0.526
<b>2 π R = 628,32</b>				30	11° 32' 51"	15.171	0.638
5	2° 51' 54"	2.502	0.031	35	13° 28' 19"	17.772	1.042
10	5° 43' 46"	5.004	0.125	40	15° 20' 43"	20.408	1.356
15	8° 35' 40"	7.514	0.282	45	17° 15' 18"	23.082	1.718
20	11° 27' 34"	10.034	0.502	50	19° 9' 54"	25.801	2.122
25	14° 19' 28"	12.556	0.786	<b>R = 175.</b>			
30	17° 11' 20"	15.114	1.136	<b>2 π R = 1099,56</b>			
35	20° 3' 12"	17.681	1.551	5	1° 39' 13"	2.503	0.017
40	22° 55' 6"	20.272	2.034	10	3° 16' 27"	5.006	0.072
45	25° 47' 0"	22.888	2.586	15	4° 54' 40"	7.525	0.161
50	28° 38' 52"	25.534	3.208	20	6° 32' 54"	10.059	0.287
<b>R = 125.</b>				25	8° 11' 7"	12.598	0.448
<b>2 π R = 785,40</b>				30	9° 49' 20"	15.200	0.644
5	2° 17' 31"	2.502	0.025	35	11° 27' 33"	17.818	0.878
10	4° 35' 1"	5.004	0.100	40	13° 5' 48"	20.476	1.149
15	6° 52' 32"	7.517	0.225	45	14° 44' 1"	23.179	1.456
20	9° 10' 2"	10.042	0.401	50	16° 22' 14"	25.934	1.802

Длина кривой.	Централь- ный уг.	Тангенсь.	Биссек- триса.	Длина кривой.	Централь- ный уг.	Тангенсь.	Биссек- триса.
<b>R = 200.</b>				25	1° 46' 29"	12.668	0.261
<b>2 π R = 1256,64</b>				30	3° 43' 46"	15.342	0.375
5	1° 25' 57"	2.504	0.016	35	6° 41' 4"	18.045	0.510
10	2° 51' 53"	5.007	0.062	40	7° 38' 22"	20.816	0.668
15	4° 17' 50"	7.528	0.140	45	8° 35' 40"	23.661	0.846
20	5° 43' 47"	10.067	0.250	50	9° 32' 58"	26.602	1.044
25	7° 9' 43"	12.612	0.392	<b>R = 350.</b>			
30	8° 35' 40"	15.228	0.564	<b>2 π R = 2199,12</b>			
35	10° 1' 37"	17.863	0.768	5	0° 49' 6"	2.507	0.008
40	11° 27' 34"	20.544	1.004	10	1° 38' 13"	5.012	0.035
45	12° 53' 30"	23.276	1.272	15	2° 27' 20"	7.549	0.080
50	14° 19' 27"	26.068	1.560	20	3° 16' 27"	10.117	0.144
<b>R = 250.</b>				25	4° 5' 33"	12.686	0.224
<b>2 π R = 1570,80</b>				30	4° 54' 40"	15.399	0.322
5	1° 8' 45"	2.505	0.012	35	5° 43' 46"	18.135	0.438
10	2° 17' 30"	5.009	0.050	40	6° 32' 54"	20.952	0.574
15	3° 26' 15"	7.535	0.112	45	7° 22' 0"	23.958	0.724
20	4° 35' 0"	10.084	0.200	50	8° 11' 6"	26.869	0.896
25	5° 43' 45"	12.640	0.323	<b>R = 400.</b>			
30	6° 52' 30"	15.285	0.450	<b>2 π R = 2513,28</b>			
35	8° 1' 15"	17.954	0.612	5	0° 42' 58"	2.507	0.008
40	9° 10' 0"	20.680	0.802	10	1° 25' 57"	5.014	0.032
45	10° 18' 45"	23.470	1.017	15	2° 8' 55"	7.556	0.072
50	11° 27' 30"	26.336	1.255	20	2° 51' 54"	10.134	0.124
<b>R = 300.</b>				25	3° 34' 52"	12.724	0.196
<b>2 π R = 1884,96</b>				30	4° 17' 50"	15.456	0.280
5	0° 57' 18"	2.506	0.010	35	5° 0' 48"	18.226	0.386
10	1° 54' 35"	5.010	0.042	40	5° 43' 48"	21.088	0.500
15	2° 51' 53"	7.542	0.093	45	6° 26' 46"	24.052	0.635
20	3° 49' 11"	10.101	0.168	50	7° 9' 41"	27.136	0.784

Длина кривой.	Централь- ный уг.	Тангенс.	Биссек- триса.	Длина кривой.	Централь- ный уг.	Тангенс.	Биссек- триса.
<b>R = 450.</b>				25	2° 36' 16"	12.808	0.143
$2\pi R = 2827,44$				30	3° 7' 31"	15.637	0.203
5	0° 38' 12"	2.508	0.007	35	3° 38' 46"	18.498	0.280
10	1° 16' 24"	5.016	0.027	40	4° 10' 1"	21.496	0.363
15	1° 54' 36"	7.563	0.063	45	4° 41' 16"	24.634	0.462
20	2° 32' 48"	10.151	0.112	50	5° 12' 31"	27.937	0.567
25	3° 11' 0"	12.752	0.167	<b>R = 600.</b>			
30	3° 49' 12"	15.513	0.252	$2\pi R = 3769,91$			
35	4° 27' 24"	18.317	0.340	5	0° 28' 39"	2.511	0.005
40	5° 5' 36"	21.224	0.446	10	0° 57' 18"	5.021	0.020
45	5° 43' 48"	24.246	0.563	15	1° 25' 57"	7.584	0.048
50	6° 22' 0"	27.403	0.698	20	1° 54' 35"	10.201	0.084
<b>R = 500.</b>				25	2° 23' 14"	12.836	0.132
$2\pi R = 3141,59$				30	2° 51' 53"	15.684	0.186
5	0° 34' 23"	2.509	0.006	35	3° 20' 32"	18.589	0.257
10	1° 8' 45"	5.018	0.025	40	3° 49' 10"	21.632	0.336
15	1° 43' 8"	7.570	0.055	45	4° 17' 49"	24.828	0.420
20	2° 17' 30"	10.168	0.100	50	4° 46' 28"	28.204	0.522
25	2° 51' 53"	12.780	0.155	<b>R = 650.</b>			
30	3° 26' 16"	15.570	0.225	$2\pi R = 4084,07$			
35	4° 0' 39"	18.408	0.310	5	0° 26' 27"	2.512	0.005
40	4° 35' 0"	21.360	0.400	10	0° 52' 53"	5.023	0.020
45	5° 9' 23"	24.440	0.505	15	1° 19' 20"	7.591	0.046
50	5° 43' 46"	27.670	0.625	20	1° 45' 47"	10.718	0.078
<b>R = 550.</b>				25	2° 12' 14"	12.864	0.117
$2\pi R = 3455,75$				30	2° 38' 40"	15.741	0.175
5	0° 31' 15"	2.510	0.006	35	3° 5' 7"	18.680	0.234
10	1° 2' 30"	5.019	0.024	40	3° 31' 34"	21.768	0.305
15	1° 33' 45"	7.577	0.050	45	3° 58' 1"	25.022	0.390
20	2° 5' 1"	10.184	0.093	50	4° 24' 28"	28.471	0.481

Длина кривой.	Централь- ный уг.	Тангенсь.	Биссек- триса.	Длина кривой.	Централь- ный уг.	Тангенсь.	Биссек- триса.
<b>R = 700.</b>				25	1° 47' 25"	12.948	0.099
<b>2 π R = 4398,32</b>				30	2° 8' 54"	15.912	0.140
5	0° 24' 33"	2.513	0.005	35	2° 30' 24"	18.952	0.192
10	0° 49' 6"	5.025	0.017	40	2° 51' 54"	22.176	0.248
15	1° 13' 40"	7.598	0.042	45	3° 13' 24"	25.604	0.315
20	1° 38' 12"	10.235	0.070	50	3° 34' 50"	29.272	0.392
25	2° 2' 46"	12.892	0.112	<b>R = 850.</b>			
30	2° 27' 20"	15.798	0.161	<b>2 π R = 5340,70</b>			
35	2° 51' 52"	18.770	0.217	5	0° 20' 13"	2.516	0.004
40	3° 16' 25"	21.904	0.287	10	0° 40' 27"	5.030	0.014
45	3° 40' 58"	25.216	0.364	15	1° 0' 40"	7.619	0.033
50	4° 5' 32"	28.738	0.448	20	1° 20' 53"	10.285	0.059
<b>R = 750.</b>				25	1° 41' 6"	12.976	0.091
<b>2 π R = 4712,38</b>				30	2° 1' 20"	15.969	0.131
5	0° 22' 56"	2.514	0.004	35	2° 21' 33"	19.043	0.179
10	0° 45' 50"	5.026	0.016	40	2° 41' 46"	22.312	0.238
15	1° 8' 47"	7.605	0.038	45	3° 1' 59"	25.798	0.297
20	1° 31' 40"	10.251	0.068	50	3° 22' 13"	29.539	0.369
25	1° 54' 37"	12.920	0.105	<b>R = 900.</b>			
30	2° 17' 33"	15.855	0.150	<b>2 π R = 5654,86</b>			
35	2° 40' 27"	18.861	0.202	5	0° 19' 6"	2.517	0.004
40	3° 3' 20"	22.040	0.263	10	0° 38' 12"	5.032	0.013
45	3° 26' 16"	25.410	0.338	15	0° 57' 18"	7.626	0.030
50	3° 49' 13"	29.005	0.420	20	1° 16' 24"	10.802	0.052
<b>R = 800.</b>				25	1° 35' 30"	13.004	0.086
<b>2 π R = 5026,54</b>				30	1° 54' 36"	16.026	0.122
5	0° 21' 30"	2.515	0.004	35	2° 13' 42"	19.134	0.167
10	0° 42' 58"	5.028	0.015	40	2° 32' 48"	22.448	0.221
15	1° 4' 27"	7.612	0.035	45	2° 51' 54"	25.992	0.283
20	1° 25' 57"	10.268	0.062	50	3° 11' 0"	29.806	0.347

Длина кривой.	Централь- ный уг.	Тангенс.	Биссек- триса.	Длина кривой.	Централь- ный уг.	Тангенс.	Биссек- триса.
<b>R = 950.</b>				<b>R = 1000.</b>			
<b><math>2\pi R = 5969,02</math></b>				<b><math>2\pi R = 6283,18</math></b>			
5	0° 18' 6"	2.518	0.003	5	0° 17' 11"	2.519	0.003
10	0° 36' 11"	5.033	0.012	10	0° 34' 23"	5.035	0.011
15	0° 54' 17"	7.533	0.028	15	0° 51' 34"	7.640	0.027
20	1° 12' 23"	10.318	0.051	20	1° 8' 45"	10.335	0.049
25	1° 30' 28"	13.032	0.087	25	1° 25' 56"	13.060	0.082
30	1° 48' 34"	16.083	0.119	30	1° 43' 8"	16.140	0.114
35	2° 6' 40"	19.224	0.162	35	2° 0' 19"	19.315	0.157
40	2° 24' 46"	22.584	0.213	40	2° 17' 30"	22.720	0.198
45	2° 42' 52"	26.186	0.266	45	2° 31' 41"	26.380	0.247
50	3° 0' 57"	30.073	0.328	50	2° 51' 52"	30.340	0.312

Хотя угломерные инструменты, употребляемые при изысканіях, рѣдко имѣютъ лимбъ, дѣлennyй менѣе чѣмъ на полуминуты, но для полноты углы въ таблицахъ показаны въ секундахъ, что не мѣшаетъ отбрасывать ихъ, выписывая въ рабочую книжку нужныя для кривыхъ данныя; части угла менѣе тридцати секундъ принимаются за полуминуты.

Составъ партіи для провѣшиванія можно опредѣлять такъ: 1) начальникъ партіи, который желательно чтобы былъ и производителемъ всѣхъ работъ по изысканіямъ, потому что дѣло всегда идетъ успѣшнѣе, если его руководитель самъ принимаетъ участіе въ общемъ дѣлѣ; 2) десятникъ для правильной установки вѣхъ при провѣшиваніи на-глазъ или по теодолиту; 3) трое рабочихъ: съ вѣхами впереди, собирающій вѣхъ сзади и носящій инструментъ.

Журналъ при провѣшиваніи линіи ведется слѣдующемъ образомъ.

Начало линіи отъ ст. К. NN ж. д. Прямая по „ „ пути станціи отъ середины пассажирскаго зданія 250 сажень, пикеть 0. Начало кр. вправо P. 300.

Пикеть 7 + 20 конецъ кр. впр. P. 300.

Прямая N W 28° 30'.

Пикетъ 32 Нач. кр. влѣво *P.* 500.

Пикетъ 39 Кон. кр. вл. *P.* 500.

Прямая *N W* 68° 36' и т. д.

Этимъ журналомъ должна быть занята одна сторона записной книжки; другая же сторона предназначается для различныхъ замѣтокъ, касающихся проектируемой линіи.

## ГЛАВА V.

**Промѣръ. Пикеты, точни, промѣръ кривыхъ, обозначеніе начала и конца кривыхъ. Журналъ промѣра.**

Вслѣдъ за провѣшиваніемъ линіи, въ постоянной связи съ нимъ на кривыхъ, идетъ промѣръ по оси линіи. Промѣръ производится или цѣпью, или стальной лентой; если цѣпь стальная и легкая, то ее можно предпочесть лентѣ, потому что она прочтѣе и случайный разрывъ ея легче исправить во время работы; но стальная лента правильнѣе ложится и менѣе затрудняетъ рабочихъ, и единственное указаніе противъ нея, это ея поломки, которыя для исправленія требуютъ времени и инструментовъ.

Единицей промѣра служитъ пикетъ, протяженіемъ въ 50 сажень, или 5 цѣпей. Изломы поверхности между двумя пикетами обозначаются промежуточными точками, при чемъ всегда слѣдуетъ избѣгать дробныхъ частей сажени. Лучшій способъ для обозначенія нумераціи промежуточныхъ точекъ есть обозначеніе ихъ отстоянія отъ ближайшаго пройденнаго пикета, напримѣръ: пикетъ 30-ый +10, +17, +30, +40, пик. 31-ый. На забиваемыхъ промежуточныхъ кольяхъ обозначается сверху знакъ +, а подъ нимъ пишется отстояніе отъ пикета.

Пикеты обозначаются кольями, длиною въ 0,20 саж. и толщиною въ 0,02 саж. Если колъ изъ кругляка, то одна сторона съ верхняго конца должна быть гладко стесана, чтобы на ней удобно было дѣлать надпись; нижняя часть кола завастривается. Прежде дѣлали пикетные кольца съ зарубкой для постановки рейки, но это не практично потому, что въ твердомъ грунтѣ не всегда можно забить такъ, чтобы зарубка пришлась вровень съ землей, да кромѣ того отъ времени, особливо въ сырую погоду, такіе кольца вытѣзаютъ изъ грунта

и горизонтъ ихъ зарубки этимъ измѣняется. Гораздо цѣлесообразнѣе, рядомъ съ пикетнымъ коломъ, на томъ мѣстѣ, гдѣ пикетъ приходится по промѣру, забивать меньшій колъ, длиною до 0,10 саж., изъ крѣпкаго дерева, вровень съ землей, расчищая послѣднюю около этаго кола, называемаго точкой, которая служитъ для правильной постановки на нее рейки. Точка остается на мѣстѣ даже и тогда, когда колъ будетъ случайно выбитъ, а во время производства земляныхъ работъ точка имѣетъ рѣшающее значеніе въ случаѣ, если возникнетъ сомнѣніе въ правильности рабочей отмѣтки.

Промѣръ по крутымъ уклонамъ требуетъ иногда особаго присообщенія въ видѣ рейки съ уровнемъ; болѣе же пологіе уклоны могутъ быть измѣряемы съ помощью приблизительно горизонтальнаго вытягиванія цѣпи.

Промѣръ на кривыхъ, при способѣ разбивки кривыхъ касательными, какъ это описано выше, идетъ въ связи съ провѣшиваніемъ линіи; въ случаѣ-же разбивки кривой ординатами отъ касательныхъ, кривая должна измѣряться цѣпью особо, при чемъ тщательно записывается промѣръ отъ ближайшаго пикета до начала кривой, затѣмъ мѣряютъ дальше по кольямъ, обозначающимъ кривую, слабо натягивая цѣпь, и замѣчаютъ конецъ кривой. При этомъ всегда бываетъ вѣкоторая неточность въ промѣрѣ, избѣжать которой трудно; но можно избѣжать накопленія неточности въ дальнѣйшемъ промѣрѣ слѣдующимъ способомъ: къ разстоянію отъ пикета до начала кривой прибавляютъ теоретическую длину кривой, рассчитываютъ мѣсто нахождения конца кривой, отъ котораго и продолжаютъ уже дальнѣйшій промѣръ, такъ, что неточности въ промѣрѣ на кривой остаются безъ вліянія на правильность дальнѣйшаго промѣра.

Что же касается промѣра съ помощью дальномѣровъ, каковой имѣетъ обширное приложение при тахеометрическихъ работахъ, то, по допускаемой имъ степени точности, онъ пригоденъ болѣе для рекогносцировочныхъ работъ; здѣсь-же не лишне замѣтить, что быстрота работы, получаемая при непосредственномъ измѣреніи цѣпью, вполне достаточна потому, что согласуется со скоростью работы провѣшиванія и нивелировки.

Въ мѣстахъ, покрытыхъ водою, гдѣ позволяетъ глубина, всегда лучше промѣрять непосредственно цѣпью, нежели опредѣлять разстояніе инструментально, такъ какъ послѣднее всегда требуетъ больше

времени, вмѣсто шпильекъ въ водѣ ставятся вѣхи, иногда даже съ лодки, если, напримѣръ, вода очень холодна или дно топко.

Какъ для каналовъ, такъ и для дорогъ промѣръ ведется одинаково, и всегда по оси линіи.

Въ случаѣ, если въ промѣрѣ встрѣтятся ошибка или въ счетѣ цѣпей на одномъ пикетѣ, или въ нумераціи пикетовъ, что бываетъ довольно часто, то ошибку эту, открываемую обыкновенно нивелирующимъ, если замѣченная ошибка далеко, лучше исправить въ первомъ случаѣ прибавленіемъ къ одному изъ слѣдующихъ пикетовъ или отнятіемъ отъ него количества саженей ошибки. Ошибка въ нумераціи можетъ быть исправлена или на мѣстѣ, или дальнѣйшую нумерацію, не исправляя пройденныхъ пикетовъ, ведутъ погасивъ замѣченную ошибку. Такое исправленіе ошибокъ способствуетъ наглядности профилей, на которыхъ всегда выгоднѣе избѣгать излишнихъ обозначеній.

Для промѣра необходимо имѣть не менѣе четырехъ работающих. Одинъ—руководящій промѣромъ, слѣдитъ за тѣмъ, чтобы цѣпь была правильно натянута по оси линіи, чтобы шпильки, которыми отмѣчаются десяти саженные промѣры цѣпью, были втыкаемы въ землю соотвѣтственно длинѣ цѣпи, чтобы рабочій, идущій съ цѣпью сзади, не забывалъ вынимать эти шпильки, отчего часто происходятъ ошибки въ промѣрѣ; затѣмъ, ведущій промѣръ долженъ быть настолько опытенъ, чтобы знать гдѣ разставлять нужныя для нивелировки промежуточныя между пикетами точки. Это требуетъ большого навыка, потому что надо избѣгать излишества обозначенія также, какъ и недостаточности. Установка кольевъ должна быть производима съ большою тщательностью по оси линіи, особенно при окончательныхъ изысканіяхъ, потому что отъ кольевъ идетъ разбивка сооружений и по нимъ-же часто приходится возобновлять линію, когда вѣхи бываютъ сбиты. Изъ двухъ рабочихъ, находящихся при цѣпи, болѣе способный или опытный помѣщается впереди, потому что навыкъ идти по линіи и выравнивать цѣпь по вѣхамъ дается не сразу и не всякому. Третій рабочій несетъ мѣшокъ съ кольями и точками, а также топоръ для забивки ихъ. Когда пятая шпилька поставлена и ведущій промѣръ тщательно установитъ ее по линіи, рабочій съ кольями долженъ быть около него и подаетъ ему точку и колъ для надписи; точка сейчасъ-же ставится на мѣсто шпильки и забивается въ то время, какъ на колѣ дѣлается надпись.

Рядомъ съ точкой, поднясью назадъ, чтобы нивелирующій проходя могъ провѣрить правильность нумералціи, забивается пикетный коль. Въ случаѣ надобности забить промежуточную точку, промѣръ останавливается и въ надлежащемъ мѣстѣ по указаніямъ цѣпи устанавливается промежуточный коль съ вышеуказаннымъ обозначеніемъ. Передавъ подписанный коль рабочему для забивки, ведущій промѣръ сейчасъ-же долженъ записать его въ журналъ, не откладывая, потому что иначе ошибка весьма возможна.

Нумера колець записываются по краю страницы по порядку, при чемъ между пикетами промежуточные точки, какъ объ этомъ говорено выше. Дороги, ручьи, рѣки, канавы и прочія урочища записываются въ строку противъ соответствующаго пикета. Если при изысканіяхъ не составляется планъ линіи и нѣтъ точныхъ топографическихъ картъ, то очень полезно на другой страницѣ журнала вести глазомѣрную съемку, что при нѣкоторомъ навыкѣ ведущаго промѣръ техника вполне возможно; но, собственно говоря, для точности работы такое допущеніе будетъ неправильно потому, что отвлекаетъ вниманіе ведущаго промѣръ отъ его главнаго дѣла, которое, не смотря на его кажущуюся легкость, требуетъ сосредоточеннаго вниманія и всегда благоразумнѣе заботиться о томъ, чтобы послѣднее утомлялось какъ можно менѣе.

Приведенныя выше указанія могутъ показаться мелочными; но эти мелочи выработались практикой не сразу, да при томъ и все дѣло изысканій состоитъ изъ ряда мелкихъ приемовъ, отчетливое знаніе которыхъ и обезпечиваетъ точное выполненіе технической стороны дѣла.

## ГЛАВА 6-я.

Нивелировка. Нивелиръ и рейки; повѣрна инструмента: установка нивелира между пикетами и выборъ точки стоянія. Взгляды передній и задній, средніе взгляды. Скорость работы и зависимость ея отъ быстроты переходовъ. Необходимость немедленнаго вычисленія отиѣтокъ. Нарачиваніе реекъ. Журналъ. Составъ партіи нивелирующаго. Поперечная нивелировка.

Скорость работы по выбору направленія линіи пути опредѣляется скоростью производства нивелировки, потому что только нивели-

ровка даетъ ясныя указанія на то, удачно ли взято при провѣриваніи направленіе. Ни одна изъ техническихъ работъ по изысканіямъ не требуетъ такого навыка въ обращеніи съ инструментомъ, такъ сказать виртуозности, какъ нивелированіе. Однообразіе этой работы скоро утомляетъ вниманіе неопытнаго работника, которому начинаетъ казаться что инструментъ не вывѣренъ, онъ начинаетъ вывѣрять его точнѣе и если, съ большимъ трудомъ и добьется его вѣрной установки, то на смѣну является сомнѣніе въ правильности чтенія показаній рейки, въ правильности записей и является состояніе неувѣренности въ себѣ, знакомое всѣмъ начинающимъ работать съ нивелиромъ.

Несомнѣнно, что со всякимъ инструментомъ, если въ конструкціи его нѣтъ несообразностей, можно получить удовлетворительный результатъ работы; но при значительной по протяженію нивелировокъ выборъ соответствующаго нивелира является вопросомъ первостепенной важности. Описывать различныя существующія системы устройства нивелировъ излишне, но слѣдуетъ замѣтить, что всегда выгоднѣе употреблять инструментъ, приспособленный только для нивелировки, какъ относительно быстроты работы, такъ и относительно прочности инструмента; между тѣмъ, къ нивелиру иногда присоединяютъ градусныя дѣленія и буссоль. Указанія магнитной стрѣлки при изысканіяхъ несомнѣнно весьма цѣнны; но когда буссоль соединена съ нивелиромъ, то это прежде всего заставляетъ подъемные винты сдѣлать мѣдными, а они при работѣ быстро стираются и установка такого нивелира становится затруднительной. Устройство волосковъ въ нивелирѣ должно быть самое простое, т. е. двѣ нормально пересѣкающіяся нити; введеніе лишней нити, какъ это иногда рекомендуютъ, требуетъ лишней затраты вниманія, а при такой однообразной работѣ какъ нивелировка, надо устранять все, что ведетъ къ непроизводительному утомленію. Наибольшая точность работы съ нивелиромъ получается тогда, когда работа дѣлается почти машинально, съ возможно меньшей затратой вниманія, что легко достигается каждымъ, имѣвшимъ случай проинивелировать нѣсколько сотенъ верстъ.

Устройство реекъ также разнообразно какъ и нивелировъ и лучшей рейкою всегда будетъ та, къ которой сдѣлана привычка. Въ общемъ же, рейка должна быть возможно легка, съ дѣленіями, по

которымъ легко отсчитываются десятыя и сотыя доли сажени. Обыкновенно длина употребляемыхъ реекъ равна двумъ саженимъ, при чемъ рейки болышею частью дѣлаются складныя, или коробчатыя, состоящія изъ трехъ частей, вдвигаемыхъ одна въ другую, или перегибающіяся пополамъ на петлѣ и закрѣпляемыя во время работы несложнымъ приспособленіемъ. Последнее устройство рейки имѣетъ то преимущество, что на большія разстоянія показанія на ней яснѣе видны, потому что она по всей длинѣ имѣетъ одинаковую ширину, тогда какъ верхнее колѣно выдвигной рейки бываетъ обыкновенно такъ узко, что дѣленія на немъ и подиасы иногда бывають плохо видны на разстояніи ста и болѣе сажень отъ мѣста стоянія нивеллира; съ другой же стороны, преимущество выдвигной рейки заключается въ томъ, что съ него рѣже бывають ошибки на сажень, довольно обычныя при нивелировкѣ.

Чтобы достигнуть возможной быстроты работы, необходимо передъ началомъ ея производить тщательную повѣрку нивеллира, о которой надлежитъ распространяться; замѣтимъ только, что чаще всего разстраивается во время работы правильность положенія уровня, а потому, произведя передъ началомъ работы общую повѣрку инструмента, во время работы надо всегда наблюдать за правильностью показаній уровня. Повѣрка эта не требуетъ много времени, а тщательно вывѣренный уровень способствуетъ быстрой установкѣ инструмента.

Разсматривая работу съ нивелиромъ въ общемъ ея ходѣ, впервыхъ надо сказать о выборѣ мѣста для установки инструмента. Если линія провѣшена и промѣръ сдѣланъ, то нивелирующему выгодище съ одной стоянки взять возможно болѣе точекъ. Труба хорошаго нивеллира, при благопріятномъ оптическомъ состояніи атмосферы, легко допускаетъ возможность видѣть показанія рейки на протяженіи сажень двухсотъ, по сто сажень въ сторону. Если линія приблизительно горизонтальна, то выборъ точки стоянія не представляетъ трудности: слѣдуетъ только помѣститься приблизительно въ серединѣ между крайними точками, намѣченными для взглядовъ, въ разстояніи отъ задней рейки насколько позволитъ труба нивеллира, и всѣ точки пиктажа между крайними точками будутъ видны. Иное дѣло когда линія идетъ съ уклономъ, когда точки стоянія реекъ находятся въ значительно различающихся горизонтахъ; тогда болышею частью нивелляръ приходится располагать ближе къ той точкѣ, кото-

рая выше; потому что высота трубы нивелира рѣдко бываетъ надъ поверхностью земли болѣе 0,60 саж. Въ этомъ случаѣ, чтобы сразу опредѣлить выгоднѣйшую точку стоянія инструмента, надо имѣть навыкъ. Что же касается рейки, стоящей ниже, то при открытомъ горизонтѣ всегда можно видѣть, до установки инструмента, будетъ ли конецъ рейки выше или ниже волоска трубы: для этого надо только замѣтить положеніе верхняго конца нижней рейки относительно линіи горизонта, и если онъ паровѣ или выше горизонта, то смѣло можно утверждать, что при установкѣ инструмента по уровню рейка будетъ пересѣкаема волоскомъ трубы. Въ горныхъ мѣстностяхъ это практическое указаніе мало пригодно, хотя имъ и можно пользоваться, если видѣнъ удаленный горизонтъ, хотя бы и ограниченный извилистой линіей хребта.

При вѣкоторомъ навыкѣ нивелировкой можно получить работу большой точности. Какъ примѣръ такой работы можно указать на нивелировку линій для каналовъ въ Мильской степи, отъ р. Аракса, гдѣ при сожнутой нивелировкѣ въ 150 верстѣ получилась разность въ 0,002 саж. Слѣдуетъ замѣтить, что нивелировка производилась весьма тщательно, на ровной мѣстности, и взгляды брались на 200 саж.; въ пересѣченной мѣстности на полученіе такой точности трудно рассчитывать, но всегда можно принять за норму погрѣшности на версту въ 0,005. Разумѣется такую погрѣшность нельзя допустить на большія разстоянія, потому что разъ существуетъ замѣтная погрѣшность въ одну сторону, то это несомнѣнно указываетъ, что въ производствѣ работы есть какое нибудь постоянное упущеніе, которое должно быть исправлено; случайныя же мелкія погрѣшности всегда бываютъ съ разными знаками и другъ друга поглащаютъ.

Для наибольшей точности работы существенное значеніе имѣютъ крайнія точки, на которыхъ ставятся рейки, задняя и передняя. Взгляды на нихъ должны быть сдѣланы при совершенно правильно установленномъ инструментѣ и по возможности быстро одинъ за другимъ, чтобы воспользоваться временемъ, когда инструментъ не измѣнилъ еще своего положенія, что всегда бываетъ, если стоянка инструмента продолжается значительное время. Когда эти крайніе взгляды сдѣланы и поочередно записаны, тогда можно взять и тѣ точки, которыя находятся между ними. Разумѣется, кто работаетъ быстро, безъ ущерба правильности работы, можетъ располагать взгляды и иначе.

Предположимъ, что предстоитъ проинвентировать пикеты: 6, 7, 8, 9 и 10-й. Если позволяеть мѣстность, то выгоднѣе всего установить инструментъ противъ пикета 8-го, въ сторонѣ отъ него не менѣе 3-хъ сажень, такъ какъ ближе затруднительно наведеніе въ фокусъ окуляра. При этомъ надо замѣтить, что всегда выгоднѣе помѣстить инструментъ съ той стороны лѣвнн, съ которой свѣтитъ солнце, потому что при этомъ рейки будутъ освѣщены и солнечные лучи не попадутъ въ трубу нивелира, что иногда, при низкомъ стояніи солнца, дѣлаеть чтеніе показаній рейки невозможнымъ. При переходѣ съ предыдущей стоянки къ пикету 8-му, одна рейка, бывшая на переднемъ пикетѣ 6-мъ, остается на мѣстѣ и на нее берется задній взглядъ; вторая рейка идетъ по линіи до пикета 10-го. Если нивелировка ведется съ расчетомъ на большую быстроту, тогда рейка № 2-й останавливается на пикетѣ № 9-й и взгляды располагаются такъ: задній—на пикетъ 6-й, послѣ чего эта рейка № 1-й идетъ къ пикету 7-му; средній взглядъ на рейку пикета 9-го, послѣ чего рейка № 2-й идетъ на пикетъ 10-й. Затѣмъ берется взглядъ на рейку, установленную на пикетѣ 7-мъ, которая подходитъ къ пикету 8-му, во время чего берется взглядъ на пикетъ 10-й; послѣдній взглядъ на пикетъ 8-й, послѣ чего эта рейка переносится далѣе за пикетъ 10-й, на слѣдующую стоянку инструмента. Такимъ расположеніемъ взглядовъ достигается наибольшая быстрота, и въ журналѣ получается запись, подобная слѣдующей, приведенной здѣсь какъ образецъ нивелировочной книжки.

**Журналъ нивелировки.**

Пикетъ.	В З Г Л Я Д Ы.			Разности.	Отмѣтки.
	Задній.	Средній.	Передній.		
6	653	—	—	—	61.307
7	—	537	—	—	—
8	—	611	—	—	—
9	—	708	—	—	—
10	—	—	781	—128	60.179

Въ журналѣ показаны цифры, получаемыя во время полевой работы; остальные отмѣтки вычисляются потомъ. Многіе ограничи-

ваются для записи взглядовъ двумя графами, при чемъ средніе взгляды записываются въ обѣ графы; въ основаніи противъ этого сказать нечего, но на практикѣ это вопервыхъ усложняетъ запись, а вовторыхъ затрудняетъ повѣрку вычисленія отмітокъ, для чего достаточно имѣть разность суммы заднихъ и переднихъ взглядовъ.

Весьма важно, чтобы нивелирующей сдѣлалъ привычку вычислять отмітки, хотя бы только заднихъ и переднихъ взглядовъ, во время самой работы. Это полезно не только для того, чтобы всегда имѣть готовые отмітки пройденной мѣстности, но и какъ повѣрка работы, потому что грубая описка, какъ часто бываетъ на цѣлую сажень, сейчасъ же окажется на разности отмітокъ.

Промежуточные между пикетами точки вводятся въ журналъ со знакомъ + в томъ порядкѣ, какъ онѣ встрѣчаются по линіи. При нумераціи промежуточныхъ точекъ, указанной въ главѣ о промѣрѣ, графа разстояній становится излишней и не введена въ прилагаемый образецъ журнала; полезнѣе имѣть запасную графу для отмітокъ, какъ потому, что ихъ часто приходится перечислять по другому горизонту, такъ и для нанесенія отмітокъ предполагаемой проэктной линіи.

Данный выше примѣръ представляетъ нивелировку по равнинѣ; въ мѣстахъ съ значительнымъ уклономъ иногда можно съ одной стоянки взять только два пикета, а на крутыхъ склонахъ, въ зависимости отъ разности высотъ, могутъ понадобиться и вводныя точки для установки реекъ, называемыя переходными. Такія точки забываются безъ промѣра, такъ какъ онѣ нужны только для связи нивелировки, при томъ съ тѣмъ расчетомъ, чтобы возможно экономнѣе пользоваться всей длиною реекъ, чѣмъ значительно ускоряется работа. Запись взглядовъ на эти точки ведется въ графахъ заднихъ и переднихъ взглядовъ, при чемъ въ графѣ пикетовъ ставится какой нибудь опредѣленный знакъ, на примѣръ діеизъ или крестъ. При пользованіи этими вводными точками надо строго слѣдить, чтобы реечникъ, привыкнувъ къ быстрымъ переходамъ, не сходилъ съ мѣста безъ приказанія, потому что произвольная перестановка имъ рейки, проходящая часто незамѣченной, вводитъ въ нивелировку трудно находимую ошибку.

При нивелировкѣ чрезъ глубокіе овраги съ крутыми склонами, для избѣжанія передачи ошибки, возможной при нивелированіи крутыхъ склоновъ, надо послать одну рейку на другой берегъ и

взять на нее взглядъ въ связи съ общей нивеллировкой, оставляя въ журналѣ между этими двумя взглядами, заднимъ и переднимъ, достаточно мѣста, чтобы между ними могли быть вписаны потомъ отмѣтки всѣхъ точекъ промѣра по оврагу. Самая же нивеллировка оврага, также въ связи съ общей нивеллировкой, дѣлается на особой страницѣ, при чемъ, по переходѣ оврага и связи этой нивеллировки съ перекинутой на другой берегъ рейкой, получится погрѣшка нивеллировки чрезъ оврагъ. Иногда, при крутыхъ склонахъ, для скорости работы полезно наращивать рейку. Дѣлается это такъ, что къ стоящей на данной точкѣ рейкѣ прикладывается поднятая насколько возможно другая рейка. Прочитанное на ней показаніе, сложенное съ показаніемъ столбца на землѣ рейки до нижняго конца поднятой, вносится въ журналъ, при чемъ всегда получается запасъ больше полной длины рейки.

Скорость работы нивеллировочной партіи очень различна: тогда какъ въ горныхъ мѣстахъ въ день съ трудомъ иногда можно сдѣлать двѣ версты, на равнинахъ, въ 8 часовъ дневной работы, по четыре часа за разъ, опытный нивеллировщикъ можетъ сдѣлать 20 верстъ вполне удовлетворительной работы. Скорость работы, оставляя въ сторонѣ мѣстные условія, зависитъ отъ навыка работающаго въ установкѣ инструмента и умѣнья организовать работу, а также, на равнинныхъ мѣстахъ особенно, отъ скорости перехода отъ одной столики до другой какъ самимъ нивеллирующимъ, такъ и его рабочими.

Количество работающих при нивеллировкѣ обыкновенно достаточно въ четыре человека: нивеллирующій, рабочій для переноски инструмента и два речника. Всегда полезно имѣть постоянныхъ рабочихъ, потому что навыкъ, приобретаемый ими, способствуетъ ускоренію хода работы и служитъ къ тщательности ея выполненія.

Поперечная нивеллировка, если склоны косогора пологи, можетъ быть дѣлаема нивелиромъ; если же склоны крутые, то таковая дѣлается рейкой опредѣленной длины, къ которой прикрѣпленъ уровень. Такая нивеллировка, если ведется на большомъ протяженіи, производится особо составленной партіей, при чемъ количество работающих тоже, какъ и при промѣрѣ, а скорость работы можетъ быть отъ одной до двухъ верстъ въ день по оси пути. Ускорить эту работу можно значительно съ помощью теодолита, въ которомъ ось трубы установлена подъ угломъ параллельно склону; тогда съ по-

мощью рейки, опредѣляютъ изломы склона отъ визирной линіи, а затѣмъ прибавляютъ къ показаніямъ рейки высоты, вычисленныя въ зависимости отъ угла. Такая работа требуетъ опытнаго работника, а потому рѣдко употребляется на практикѣ, развѣ тогда, если поперечники задерживаютъ всю работу и тогда ими можетъ заняться ведущій провѣшиваніе.

## ГЛАВА VII.

**Составленіе профили. Провѣрка и дополненіе вычисленій отиѣтокъ нивелировки. Составленіе плана въ масштабѣ 0,0001 для проэктированія измѣненной направленія, если таковыя потребуются.**

Когда произведены отдѣльныя работы: провѣшиваніе, промѣръ и нивелировка, то по записямъ этихъ работъ въ журналахъ надо составить профиль. Составленіе ея часто откладываютъ до тѣхъ поръ, пока не пройденъ какой нибудь опредѣленный участокъ, напримѣръ отъ города до города; но это возможно только на мѣстности, не представляющей для изысканій яп какихъ техническихъ трудностей. Такого откладыванія во всякомъ случаѣ лучше избѣгать, и правильнѣе составлять профиль на каждой остановкѣ, чтобы окончательно убѣдиться, въ какой мѣрѣ удѣлительно пройдено въ данномъ мѣстѣ, тѣмъ болѣе, что нанесеніе на профиль 5 или 10-ти верстъ требуетъ немного времени, которое можетъ быть удѣлено отъ полуденной или вечерней остановки.

Выше было упомянуто, что за единицу измѣренія длины линіи принять пикетъ, длиною въ 50 сажень; это разстояніе, нанесенное на профиль въ масштабѣ 0,0001, даетъ величину въ 0,005 сажени. Промежуточныя точки промѣра ищутся по ихъ отстоянію отъ пикетовъ и одной отъ другой, такъ, чтобы сумма ихъ отстояній между двумя смежными пикетами получалась въ 50 сажень.

Какъ видно изъ образца нивелировочнаго журнала, отиѣтки поверхности, вычисленныя во время работы, требуютъ повѣрки и дополненія вычисленій, если они не были сдѣланы для всѣхъ пикетовъ. Повѣрку и вычисленіе во время остановокъ послѣ работы лучше всего производить съ помощью обыкновенныхъ счетъ, въ которыхъ

дѣлается то измѣненіе, что вмѣсто послѣднихъ четвертей копѣекъ помѣщается цѣлый десятокъ для того, чтобы считать полностью тысячныя доли, которыя обыкновенно принимаются при записяхъ за единицу для показаній реекъ. Употребленіе для вычисленій счетъ основывается на сбереженіи времени и силъ счетчика, и рекомендуется здѣсь потому, что счеты есть самая простая и самая наглядная изъ счетныхъ машинокъ.

Повѣрка вычисленій нивелировки по тѣмъ записямъ, которыя находятся въ нивелировочной книгѣ даннаго образца, состоитъ изъ сложенія взглядовъ заднихъ и переднихъ, каждаго между собою, затѣмъ производится между суммами ихъ вычитаніе и полученная разность сравнивается съ разностью, которая получается между крайними отмѣтками страницы; при вѣрномъ вычисленіи обѣ разности должны быть равны. Надо замѣтить, что иногда ошибка въ вычисленіи происходитъ отъ ошибочнаго переноса послѣдней отмѣтки на другую страницу.

Когда всѣ отмѣтки вычислены и провѣрены, можно приступить къ составленію профили.

Вычисленные отмѣтки вписываются на профиль въ особой графѣ, при чемъ для рабочей профили иногда берутъ большій масштабъ для горизонтальныхъ разстояній, нежели общепринятый въ 0,0001, — но это не приноситъ особой выгоды, и всегда лучше держаться общепринятаго масштаба. Правда, иногда, особенно въ горныхъ мѣстахъ, отмѣтокъ бываетъ такъ много, что ихъ трудно вписать между шкелами, — но для облегченія этого можно сдѣлать графу отмѣтокъ шире, и размѣщая ихъ послѣдовательно, получить достаточную наглядность. По выпясаннымъ, соотвѣтственно промѣру, отмѣткамъ, откладываются ординаты, считая отъ черты, означающей уровень моря, въ масштабѣ 0,001, такъ что профиль получается съ большимъ рельефомъ, чѣмъ въ натурѣ; это необходимо для ея наглядности и глазъ легко привыкаетъ по такой профили судить о работахъ, которыя предстоятъ на пройденной мѣстности.

Когда профиль такимъ образомъ составлена, можно приступить къ нанесенію проектной линіи, которая и покажетъ, вѣрно ли было избрано направленіе. Понятно, такая предварительная проектировка впоследствии будетъ измѣнена и нанесена болѣе тщательно; въ данномъ же случаѣ будетъ достаточно, если она укажетъ мѣста, гдѣ направленіе линіи должно быть измѣнено.

Проектировка лини не должна быть очень мелкой, какъ это иногда дѣлаютъ ради уменьшенія земляныхъ работъ. Въ мѣстахъ равнинныхъ надо избѣгать мелкихъ и длинныхъ выемокъ, такъ какъ въ зимнее время онѣ легко заносятся снѣгомъ; въ мѣстахъ косогорныхъ надо сообразоваться съ поперечниками; проектируя насыпи и выемки на ровныхъ мѣстахъ, надо имѣть въ виду, что площадь выемокъ всегда соотвѣтственно больше, а потому для равенства объемовъ надо проектировать выемки мельче насыпей при невысокихъ отиѣткахъ на  $\frac{1}{3}$ , а при большихъ до  $\frac{1}{4}$ . Въ горныхъ мѣстахъ, гдѣ часто для выемокъ можно допустить болѣе крутые откосы, отношеніе бываетъ обратное.

Вопросъ о томъ, какъ должны быть производимы измѣненія направленія лини, рѣшается такъ: когда, по нанесеніи проектной лини опредѣлены мѣста, между какими пикетами надо измѣнить линію, то для этихъ мѣстъ лучше всего составить планъ лини съ кривыми и нанесеніемъ на него пикетовъ. Затѣмъ, отъ пикетовъ, находящихся въ рѣшающихъ мѣстахъ, какъ напримѣръ на хребтахъ или въ низинахъ, надо сдѣлать поперечную нивелировку и по ней судить, насколько должна быть перемѣщена линія, чтобы находиться въ наибывгоднѣйшихъ условіяхъ. Такая избранная линія наносится на планъ и затѣмъ, когда опредѣлено по ней расположеніе кривыхъ и прямыхъ, провѣшивается на мѣстѣ. При нѣкоторой опытности всегда будетъ достаточно одного такого измѣненія. Когда такимъ способомъ линія будетъ найдена, слѣдуетъ не забыть снять съ прежней лини всѣ колья и знаки, чтобы потомъ не спутать брошенное направленіе съ окончательно избраннымъ.

## ГЛАВА VIII.

### Сбереженіе и починка инструментовъ.

Упомянувъ о томъ, что составленіе профиля лучше всего производить на каждой остановкѣ послѣ работы, когда вся партія собирается вмѣстѣ, скажемъ нѣсколько словъ о сохраненіи, повѣркѣ и содержаніи въ порядкѣ инструментовъ, а также и объ исправленіи случайныхъ поврежденій ихъ. Умѣнье обращаться съ инструмен-

тами дается не сразу, но должно быть приобретено всякимъ занимающимся полевыми работами.

Во время остановокъ спокойнѣе всего уложить инструменты въ ящики, хотя бы остановка и была сдѣлана не болѣе какъ на два или три часа; можно оставлять ихъ и наивысшими на треноги, но тогда надо оберегать ихъ, особенно со стороны лошадей или верблюдовъ, иногда желающихъ почесать себѣ спину о трубу нивелира или теодолита.

Если во время работы замѣчено, что вращеніе инструмента на оси, или приспособленіе для акомодациі окуляра дѣйствуетъ не вполне свободно, то инструментъ въ первую остановку долженъ быть разобранъ и осмотрѣнъ, трущіяся части его вытерты мягкой тряпкой и замшей и затѣмъ смазаны, но не очень жирно, при чемъ не слѣдуетъ употреблять другой смазки, кромѣ чистаго вазелина, который не портится и препятствуетъ металлу окисляться. Особенно зимой смазываніе должно быть самое умѣренное, потому что охладившійся металлъ стущаетъ всякую смазку.

Зубчатка, выдвигающая окуляръ, часто портится окончательно только по недосмотру, потому что если она установлена на мѣстѣ и движеніе трубки идетъ правильно, то зубцы служатъ долго; но достаточно произойти случайной порчѣ въ одномъ зубцѣ, и затруднительность перемѣщенія окуляра усилится до того, что нельзя будетъ производить его безъ толчковъ установленному инструменту.

Всегда также надо имѣть въ запасѣ нѣсколько тщательно выбранныхъ уровней, чтобы замѣнять ими разбитые въ полѣ. Замѣна уровня—операция очень не трудная и каждый производитель работъ по изысканіямъ долженъ имѣть выйти изъ всякихъ случайныхъ затрудненій, неизбежныхъ при полевыхъ работахъ. Если уровень входитъ въ обдѣлку свободно и остается большой зазоръ, то его снизу можно поднять бумагой, пробкой, или чѣмънибудь подобнымъ, до нѣкоторой степени упругимъ, такъ, чтобы уровень былъ прижатъ къ обдѣлкѣ верхнею своею частью съ дѣлениями. Концы уровня въ трубкѣ обыкновенно заливаются гипсомъ; но въ полѣ для этого вполне пригодны и сургучъ, и мятый хлѣбъ и пробка, что угодно, только бы укрѣпить уровень неподвижно.

Многіе относятся ко всякой работѣ, отмежеванной себѣ торговцами оптическихъ инструментовъ съ особымъ страхомъ, перенося

этотъ страхъ и на инструменты, съ которыми имъ приходится имѣть дѣло; но съ своей стороны авторъ считаетъ долгомъ настаивать на указаніи, что предпринимающій обширныя полевыя работы съ инструментами, долженъ знать какъ собрать свой инструментъ и не только вывѣрить его, но и исправить, если въ немъ есть недостатокъ или поврежденіе. Если новобранецъ-солдатъ легко пріобрѣтаетъ навыкъ къ сборкѣ и разборкѣ берданки, то инженеру, готовящему себя къ практической дѣятельности, всестороннее знакомство съ орудіями, примѣнимыми къ его специальности, не будетъ затруднительнымъ. Главное условіе удачі въ области техническихъ примѣненій науки заключается не въ одномъ знаніи, но и въ умѣніи примѣнять знаніе хотя бы и къ области ремесленныхъ производствъ.

Чаще всего во время производства полевыхъ работъ приходится замѣнять волоски. Рвутся они большею частью тогда, когда приходится вынимать окуляръ для чистки его стеколъ, что бываетъ довольно часто, такъ какъ благодаря дурному въ большинствѣ случаевъ устройству этого важнаго оптическаго приспособленія, образующая вслѣдствіе тренія пыль, металлическая и происходящая отъ окраски внутренности трубы, садится на стекла и мѣшаетъ визированію не только механически, но и тѣмъ, что постоянно привлекаетъ на себя часть вниманія. Соръ этотъ иногда садится на волоски, такъ что вслѣдствіе этого ихъ приходится мѣнять; иногда же достаточно бываетъ быстро вдвинуть на мѣсто трубку вычищеннаго окуляра, чтобы волоски лопнули вслѣдствіе движенія воздуха. Для замѣны волосковъ, какъ и всякой работы, требующей отчетливости, нуженъ навыкъ. При навыкѣ она требуетъ времени не болѣе 20-ти минутъ, но эта потеря времени и труда съ избыткомъ вознаграждается успѣшностью дальнѣйшей работы, такъ какъ хорошо натянутые волоски хотя мелкое, но существенное условіе отчетливости работы съ инструментомъ.

Чтобы натянуть волоски, надо, вынувъ окуляръ, отвинтить ту металлическую рамку, на которой они натягиваются. Счастивъ осторожно лакъ, которымъ къ рамкѣ прикрѣпляются концы волосковъ, легко замѣтить два діаметральныхъ прорѣза, предназначенные къ правильному помѣщенію въ нихъ пересѣкающихся волосковъ; если этихъ прорѣзовъ нѣтъ, то ихъ не трудно сдѣлать. Для этого, на листѣ бумаги тщательно вычерчиваются двѣ взаимно-перпендикуляр-

ныя линіи, и вокругъ точки пересѣченія описывается окружность, радіусомъ равнымъ радіусу вѣншей окружности рамки. Тогда рамка тщательно укладывается на эти линіи такъ, чтобы положеніе ея приблизительно соответствовало тому, какое она должна имѣть въ трубѣ, указаніемъ чему служатъ ввинчиваемые въ нее нажимные винты. Когда центры рамки и начерченной окружности по возможности совпадаютъ, надо осторожно наложить на рамку гибкую линейку такъ, чтобы концы ея совпали съ одной изъ пересѣкающихся линій, и тогда на металлической закраинѣ рамки острой иглою прочертить линіи; не сдвигая рамки это дѣлается и по направленію другой линіи. Затѣмъ можно приступить къ наложенію волосковъ. Кстати упомянемъ о томъ, что нѣкоторые оптики предлагаютъ замѣнить волоски линіями, нарѣзанными тонко на шлифованномъ стеклѣ; это имѣетъ нѣкоторые преимущества, но не вѣрно въ основаніи, потому что бесполезное введеніе отражающихъ и поглощающихъ свѣтъ плоскостей и срединъ пролѣвно основаніямъ устройства оптическихъ системъ, да кромѣ того на стеклѣ осаждаются пыль, о которой было упомянуто выше, и при чисткѣ стекло также можетъ быть разбито, такъ что преимущества этой замѣны становятся весьма проблематичными.

Матерьяломъ для волосковъ служатъ иногда паутинна, но большею частью, какъ болѣе прочная, нить шелкопряда. Для этого надо всегда имѣть въ запасѣ нити сырцеваго шелка; если же ихъ подъ руками не найдется, то годится всякая шелковая нить, хотя бы добытая изъ окрашенной шелковой ткани. Средняя толщина нити шелкопряда выражается трудно воображаемой величиной въ 0,0000026 сажени и на одинъ золотникъ приходится 12.000 сажень такой нити. Обыкновенно продажный шелкъ составляется изъ нѣсколькихъ нитей шелкопряда; на волоски же годится только натуральная нить, такъ какъ соединеніе двухъ или нѣсколькихъ нитей чрезъ окуляръ будетъ казаться веревкой.

Работа по натягиванію волосковъ должна быть производима въ затишѣ, такъ какъ эта тонкая нить въ воздухѣ очень подвижна и съ нею на вѣтру трудно справиться. Нить надо взять длиною дюймовъ въ пять для того, чтобы ее легко было прикрѣпить концами къ раскрытому дюйма на три циркулю, къ ножкамъ котораго нить и прикрѣпляется съ помощью лака или воска. Когда оба конца нити

укрѣплены, тогда надо раздвинуть нѣсколько ножки циркуля, съ нѣкоторой осторожностью, чтобы нить не лопнула. Если натяженіе волосковъ будетъ слабо, то, когда въ атмосферѣ много влажности, волоски ослабѣваютъ; это довольно чувствительный гигрометръ, помѣщенный не на своемъ мѣстѣ. Когда нить хорошо натянута, чего можно достигнуть хотя бы и порвавъ предварительно нѣсколько нитей, то она, вмѣстѣ съ циркулемъ, переносится и накладывается на рамку такъ, чтобы улеглась какъ разъ въ прорѣзы. Для закрѣпленія волосковъ лучше всего употреблять спиртовый лакъ, который переносится на мѣсто въ видѣ маленькой капли съ помощью иглы. Пока лакъ на мѣстѣ не высохнетъ, не надо трогать циркуль; но хорошій лакъ сохнетъ быстро, и когда онъ высохъ, то концы нити или обрѣзаетъ ножницами, или, проще, обжечь спичкой. Второй волосокъ, перпендикулярно къ первому, натягивается такъ же. Натягиваніе болѣе двухъ пересѣкающихся волосковъ на одной рамѣ, какъ было говорено выше, излишне.

Кромѣ порчи волосковъ и уровней, въ инструментахъ часто замѣчается поврежденіе, исправленіе котораго бываетъ довольно затруднительно, — это коловращеніе. Благодаря тому, что вертикальныя оси инструментовъ устриваются съ конической поверхностью, инструментомъ можно работать въ теченіи многихъ лѣтъ безъ образованія замѣтнаго коловращенія; получается же оно или вслѣдствіе работы на морозѣ, отчего при неравномѣрномъ сжатіи втулки растягивается, или отъ того, что при переноскѣ инструмента отъ одной стоянки до другой было упущено закрѣпленіе оси, при чемъ труба, перевѣсившая и качаясь, производила удары, образовавшіе зазоръ между осью и втулкой.

Когда коловращеніе замѣчено, то слѣдуетъ разобрать инструментъ и осмотрѣть ось его. Если то утолщеніе оси, которое находится какъ выступъ въ верхней ея части, касается верхней части втулки и при вращеніи скользитъ по ней, то иногда достаточно бываетъ подпилить немного выступающій верхъ втулки, — тогда ось опускается ниже, зазоръ уничтожается, а съ нимъ прекращается и коловращеніе. Иногда для этого достаточно бываетъ напудрить ось и втулку крокусомъ и пришлифовать ихъ вращеніемъ. Разумѣется все это возможно пока коловращеніе не достигло большой степени; въ случаѣ же значительнаго коловращенія, въ полѣ уничтожить его не возможно и

слѣдуетъ взять другой инструментъ, который всегда долженъ быть въ запасѣ, особливо если работа спѣшная и производится вдали отъ мѣста, гдѣ можно исправить инструментъ или получить новый. Исправленіе иныхъ поврежденій инструментовъ, будь это поломка треноги, разрывъ цѣпи или поломка рейки, не затруднительно, и объ нихъ говорить излишне.

## ГЛАВА IX.

**Составъ партіи, количество рабочихъ. Средства передвиженія багажа: повозки, व्यони конные и верблюды, ручная переноска багажа. Питаніе, палатки, одежда. Необходимыя предосторожности для сохраненія здоровья.**

**Змѣи и вредныя насѣкомыя. Ходъ дневной работы.**

Какъ было указано выше, партія изысканій должна состоять изъ: производителя изысканій, ведущаго провѣшиваніе линіи, десятника при немъ; ведущаго промѣръ и нивелирующаго. Эти три лица составляютъ техническое ядро партіи, и при нихъ должно быть не менѣе девяти рабочихъ.

Для того чтобы передвиженіе партіи шло безпрепятственно, надо имѣть въ достаточномъ количествѣ средства передвиженія, считая что весь багажъ партіи будетъ отъ 50 до 100 пудовъ. Такъ какъ движеніе часто производится по мѣстамъ, гдѣ нѣтъ дорогъ, то надо считать на грузъ отъ трехъ до шести подводъ, или отъ шести до двѣнадцати व्यючныхъ лошадей, или отъ четырехъ до восьми верблюдовъ. Иногда, въ мѣстахъ топкихъ, багажъ переносится рабочими, и тогда нельзя рассчитывать на носильщика болѣе двухъ пудовъ.

Вьючная перевозка имѣетъ много преимуществъ въ странахъ горныхъ и песчаныхъ, но организація ея требуетъ внимательности и дисциплины. Въ мѣстахъ населенныхъ багажъ можетъ быть значительно сокращенъ; но въ странахъ съ рѣдкимъ населеніемъ организація передвиженія партіи и ея продовольствія, въ виду безыостановочности работы, вопросъ не послѣдней важности, и надо имѣть по возможности все съ собою, чтобы обозъ не замедлил работу. Въ мѣстахъ, гдѣ нѣтъ осѣдлаго населенія, или оно очень рѣдко, полезно возить съ собою муку, для того чтобы рабочіе пекли себѣ

каждый день горячий хлѣбъ. На Востокѣ для такого быстрого печенія хлѣба существуетъ очень простое приспособленіе въ видѣ желѣзной чашки фута въ полтора діаметромъ. Топливо берется какое встрѣтится подъ руками: саксауль, бурьянь, кизякъ, и пр., и когда образуется достаточная куча горячей золы, смѣшанной съ углемъ, ее покрываютъ желѣзной чашкой, выпуклостью вверхъ; изъ заготовленнаго заранѣе тѣста дѣлають лепешки и прикладываютъ ихъ къ горячей выпуклой поверхности чашки, печеніе происходитъ быстро и такимъ образомъ получается хлѣбъ, если не особенно нѣжный, то все таки сѣдобный и достаточно вкусный. Большую роль въ такомъ походномъ питаніи играетъ чай, особливо въ жаркое время; этотъ напитокъ особенно необходимъ для рабочихъ и особенно тамъ, гдѣ дурная вода ведетъ къ лихорадочнымъ заболѣваніямъ.

Въ жаркихъ странахъ, а также и всздѣ въ дождливое время необходимо имѣть палатки или иные покрывки. Наиболѣе практичны палатки такъ называемыя американскія, изъ непромокаемой хлопчато-бумажной ткани, съ особымъ тентомъ для жаркихъ странъ. Такая палатка для свободнаго помѣщенія четверомъ, стоитъ около ста рублей. Въ зимнее время можно дѣлать войлочныя палатки. При изысканіяхъ отъ Самарканда къ Карли, когда морозъ близъ перевала Джамъ дошелъ въ одну ночь до  $-12^{\circ}$  R, рабочіе строили себѣ съ помощью вѣхъ шалаши изъ войлоковъ и не смотря на то, что были одѣты только въ халаты, слегка подбитые ватой, говорили, что въ такомъ шалашѣ теплѣе чѣмъ въ домѣ.

Если можно сдѣлать общее замѣчаніе относительно здоровья, особенно въ лихорадочныхъ странахъ, то слѣдуетъ замѣтить, что въ жаркое время всегда слѣдуетъ одѣваться нѣсколько теплѣе, напримѣръ въ легкія шерстяныя ткани, тогда какъ въ зимнее время, при движеніи, всегда слѣдуетъ одѣваться такъ, чтобы чувствовать нѣкоторую степень холода, настолько, чтобы не появлялось испарины, потому что иначе простуда почти неминуема. Затѣмъ, въ жаркое время надо пить воду очень осторожно, потому что въ жаркихъ странахъ вода чаще всего служитъ источникомъ лихорадочныхъ заболѣваній. Тамъ, гдѣ существуетъ орошеніе полей, для питья всегда лучше предпочтатъ быстро текущую и мутную воду главныхъ каналовъ, избѣгая воды стекающей съ орошенныхъ полей, хотя она большею частью и бываетъ чиста по виду, вслѣдствіе выдѣленія осадковъ.

Въ очень жаркихъ странахъ, какъ наиримѣрь въ песчаныхъ Среднеазиатскихъ равнинахъ, обильное пятье воды не приноситъ того вреда, какъ въ мѣстахъ обильно орошенныхъ и съ богатой растительностью.

Упомяная объ опасностяхъ заболѣванія, не мѣшаетъ сказать нѣсколько словъ объ укушеніяхъ вредныхъ насѣкомыхъ, съ которыми въ жаркую пору приходится воевать на каждой остановкѣ, какъ: комары, тарантулы, фаланги и скорпионы.

Противъ комаровъ хорошимъ средствомъ служить гвоздичное масло и тому, кто боится ихъ ужаленія настолько, что не можетъ заснуть, достаточно намазать имъ открытыя части тѣла, чтобы эти хищники оставили его въ покоѣ; къ сожалѣнію, гвоздичное масло очень летуче и дѣйствуетъ не болѣе какъ на часъ. Впрочемъ, день проведенный въ работѣ на воздухѣ достаточная гарантія, чтобы разъ уснувъ, не просыпаться отъ комариного жужжанья. Тарантулы боются, говорятъ, запаха овчины и даже войлока, но проверить этого автору не пришлось и не случалось видѣть ни одного укушенія тарантуломъ. Иное дѣло скорпионы и фаланги. При изысканіяхъ на Батумской линіи около Цихедзари, къ одному изъ рабочихъ аджарцу небольшой черной скорпионъ забрался въ башмакъ и укусилъ его за пятку, отъ боли рабочій сталъ прыгать на одной ногѣ и сейчасъ-же побѣждалъ въ находившейся по близости казачій постъ, гдѣ казаки промочили ему ранку водкой и боль скоро утихла; дальнѣйшихъ послѣдствій укушеніе не произвело и рабочій остался на работѣ. Казаки, расположенные постами по Араксу, гдѣ очень много скорпионовъ и фалангъ, рассказывали, что скорпионъ рѣдко кусаетъ и укушеніе его не опасно; надо только, надѣвая сапоги, всегда ихъ хорошенько вытряхнуть, также какъ рукава и карманы одежды, потому что скорпионы забираются туда очень охотно. Укушенія фаланги встрѣчаются чаще и производятъ болѣе сильный воспалительный процессъ, такъ что для одного казака такое укушеніе было, какъ говорятъ, смертельнымъ, вѣроятно вслѣдствіе какихъ нибудь осложнений. Въ Закаспійской области, въ лагерѣ около Асхабада, солдаты часто подвергались укушеніямъ скорпионовъ и фалангъ. Рассказывали, что боль при этомъ была жгучая и мучительная и продолжалась часовъ двѣнадцать непрерывно; но вскорѣ военными врачами найдено было средство уничтожить это страданіе тѣмъ, что въ мѣстѣ укуса, подъ кожу, съ помощью иглы, какая употребляется для подкожнаго впры-

скиванія морфія, впрыскивали растворъ марганцовисто-калиевой соли (хамелсонъ) и боль немедленно прекращалась.

Особенно много фалангъ набивается въ палатку вечеромъ, когда въ ней горитъ огонь и налетаетъ много всякой мошкеры. Освѣщенная палатка вѣроятно привлекаетъ фалангъ со всей окрестности и онѣ начинаютъ охоту за мушками, бѣгая по полотну и не боятся забираться на человѣка,—но случаевъ укушенія при изысканіяхъ не наблюдалось. На огонь костра фаланги также бѣгутъ очень охотно и часто попадаютъ на уголья. Къ одному изъ рабочихъ фаланга забралась за ночь въ шапку, которую онъ и надѣлъ утромъ; слявъ шапку въ полдень, онъ нашелъ въ ней большую фалангу. Вѣроятно бываетъ періодъ, когда фаланги кусаются успленно, но автору неизвѣстно когда онъ бываетъ.

Укушеніе человѣка змѣей, не смотря на долгія странствія автора въ мѣстахъ, гдѣ ихъ много, ни разу наблюдать не пришлось. Въ Мильской степи, между Курой и Араксомъ, гдѣ водятся крупныя змѣи, мѣстное названіе которыхъ „гюрза“, такая змѣя укусила запряженнаго въ арбу быка въ ногу. Нога вскорѣ раздулась очень сильно и татары на кожѣ ея немедленно сдѣлали нѣсколько продольныхъ разрѣзовъ дюйма въ четыре длиной, а затѣмъ быка поставили въ текучую воду и продержали въ ней цѣлыя сутки. Послѣ этого опухоль стала опадать и быкъ выздоровѣлъ.

Описавъ нѣкоторыя случайности работы, бросимъ взглядъ на ея распредѣленіе въ теченіи дня. Бываютъ люди настолько трудолюбивые, что, кромѣ краткаго сна, все ихъ время занято или работой, или приготовленіемъ къ ней; отдавая должную дань уваженія такому трудолюбію, нельзя сказать, чтобы только такіе работники были способны доставлять трудъ высокой цѣны. Постоянная боязнь упустить какую нибудь мелочь, постоянное желаніе достигнуть такой точности работы, которая выходитъ за предѣлы практическихъ потребностей, вѣчное желаніе охватить возможно большій кругъ соображеній, — а въ результатѣ получается существенное упущеніе въ главномъ. Успѣшность полевой работы заключается не въ томъ, чтобы на нее было затрачено много времени, а въ томъ, чтобы на ней было сосредоточено много энергій. Можно долго переходить съ мѣста на мѣсто и видѣть ограниченный кругъ; но достаточно разъ подняться высоко, чтобы увидать обширный кругозоръ.

Можно считать практически опредѣлившимся правиломъ, что въ

сутки вполне достаточно восьми часовъ полевой работы; остальное время дня съ пользой употребляется на отдыхъ, на изученіе добытыхъ данныхъ, на составленіе профилей, и, въ случаѣ надобности, на поѣздки для осмотра линіи впередъ и въ стороны. Во время остановки должно быть подготовлено къ предстоящему переходу все что нужно, т. е. должны быть вывѣрены инструменты, натесаны кольца и точки всегда съ запасомъ, чтобы не пришлось изъ за колебъ останавливать работу, и осмотрѣны пункты наиболѣе интересныя въ предстоящемъ переходѣ. Въ мѣстахъ мало изслѣдованныхъ всегда очень полезно имѣть съ собою хорошую верховую лошадь, которая должна быть всегда подъ руками.

Утрохъ работу слѣдуетъ начинать не позже 8-ми часовъ, съ тѣмъ расчетомъ, чтобы около полудня остановиться для отдыха. Въ жаркіе лѣтніе дни отдыхъ можетъ быть продолженъ часовъ до 4-хъ; въ иное время, когда солнце садится рано, можно останавливаться на короткое время, — но безъ полуденнаго отдыха вообще обойтись трудно.

Передвиженіе обоза, если нѣтъ особыхъ препятствій, какъ на примѣръ трудно проходимыя ущелья, должно производиться слѣдомъ за работою. Обозъ всегда нѣсколько запаздываетъ со стоянки, затѣмъ догоняетъ работающіяхъ и ѣдетъ впередъ на мѣсто, указанное для остановки.

При указаніи на эти мелочи имѣются въ виду тѣ, кому не приходилось руководить партіей при продолжительныхъ изысканіяхъ; но каждый, разумѣется, взглянетъ на эти указанія съ своей точки зрѣнія и возьметъ изъ нихъ то, что будетъ ему пригодно.

## ГЛАВА X.

Пересѣченіе рѣкъ и сухихъ руслъ. Назначеніе полосы отчужденія. Изслѣдованіе источниковъ для водоснабженія. Карьеры камня и балласта. Свѣдѣнія о строительныхъ матеріалахъ. Дополнительные замѣчанія къ производству окончательныхъ изысканій. Исполнительная профиль, реперы и угловые столбы. Возобновленіе кривыхъ во время постройки. Скорость работы по окончательнымъ изысканіямъ.

Относительно пересѣченія рѣкъ можно указать на нѣкоторыя особенности практики изысканій и нѣкоторыя правила, часто упускаемыя изъ виду.

Многіе мосты, поставленные безукоризненно относительно русла въ періодъ меженнихъ водъ, въ половодье оказываются стоящимъ подъ угломъ къ главному направленію струи. Ошибка эта довольно распространена и необходимо указать на нее потому, что избѣжать ее не трудно. Дѣло въ томъ, что всегда больше обращаютъ вниманіе на случайные изгибы рѣки, часто неустойчивые, упуская изъ виду общее направленіе долины, заполняемой водою въ половодье. Хотя въ полную воду главная струя и совпадаетъ до нѣкоторой степени съ русломъ, но не повторяя строго его изгибы, она старается его выпрямить и часто подмываетъ устой мостовъ, поставленныхъ на излучинѣ; излучины же для перехода рѣкъ часто предпочитаютъ потому, что около нихъ мѣстность болѣею частью бываетъ возвышена и представляетъ нѣкоторыя второстепенныя выгоды для сооруженія. Это замѣчаніе касается преимущественно рѣкъ, текущихъ на равнинахъ. Въ горныхъ мѣстахъ рѣки имѣютъ другой характеръ течения и требуютъ иныхъ соображеній.

Большинство горныхъ рѣкъ текутъ по крутому уклону и рѣдко даютъ большіе разливы. Въ меженнія воды онѣ часто разбиваются на многія рукава, которые сливаются въ паводки въ одинъ потокъ, такъ что иногда ничтожный по виду ручеекъ, еле пробивающійся между камнями, требуетъ много-саженного моста. Особенно обманчивы въ этомъ отношеніи бываютъ рѣки, вода которыхъ разбирается на орошеніе.

Другое характерное отличіе горныхъ рѣкъ,—это выносы, которые болѣею частью образуются или при выходѣ рѣкъ на плоскую низменность, или при впаденіи рѣки въ главную долину. Выносы иногда достигаютъ громаднхъ размѣровъ и въ сѣченіи всегда представляютъ форму бугра. Характерную картину такого выноса представляетъ рѣка Мургабъ, образовавшая выносъ, который, въ прямомъ пересѣченіи чрезъ Новый и старый Мервъ, занимаетъ протяженіе въ 50 верстѣ. Высшая точка этого выноса надъ общимъ уровнемъ равнины возвышается на 25 саженъ и весь Мервскій оазисъ расположенъ на этомъ выносѣ. Приблизительно объемъ этого выноса равенъ 7500 милліонамъ кубическихъ саженъ или 60-ти кубическимъ верстамъ. Весь выносъ состоитъ изъ легко размываемого леса, и рѣка, текущая въ неустойчивомъ руслѣ, отступила въ настоящее время къ западу, можетъ быть съ того времени, когда прекратилась культур-

ная жизнь этого оазиса, территориальный центр которой совпадалъ съ наиболѣе возвышенной точкой выноса, гдѣ теперь остались развалины городовъ стараго Мерва.

Во время спѣшныхъ изысканій передъ постройкой Закаспійской желѣзной дороги, казалось что линія пересѣкла этотъ выносъ нормально; но обширный паводокъ слѣдующаго за постройкой линіи года показалъ, что вода, пройдя мостъ и образовавъ около него подпоръ, залила мѣстность ниже линіи и затѣмъ перешла опять на верхнюю ея сторону, заливъ уголь, образуемый горизонтальною моста и полотномъ желѣзной дороги тамъ, гдѣ оно было на той же горизонтали.

Въ неширокихъ горныхъ долинахъ, гдѣ выносы изъ боковыхъ ущелій получаются на профили въ видѣ рѣзко обозначенныхъ бу-гровъ, всегда лучше поднять линію къ устью ущелья, чтобы пересѣчь выносъ въ его началѣ; иначе подходы къ выносу будутъ въ насыпяхъ и самая постройка моста, по невозможности на выносѣ сжать струю, будетъ дороже и дастъ сооруженіе мало устойчивое. Можно разумѣтся и срѣзать небольшой выносъ выемкой, направивъ воду, даваемую ущельемъ, по круто падающей трубѣ или лотку устроенному черезъ полотно аркой, но сооружения эти должны быть разчитаны съ большимъ запасомъ, потому что иначе является рискъ, что въ сильный паводокъ труба будетъ забита камнями, а лотокъ не вмѣститъ струю.

Вопросъ о водоснабженіи, серьезный для всякой линіи, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, скудно орошенныхъ, является весьма важнымъ и требуетъ тщательнаго изслѣдованія. Когда есть время,—а оно, какъ было уже упомянуто выше, для изысканій всегда должно быть въ избыткѣ, на изслѣдованіе источниковъ водоснабженія не надо скучиться нѣсколькими днями, и если позволяютъ средства, то слѣдуетъ производить соответствующее буреніе всюду гдѣ желательно имѣть воду, потому что гадательныя опредѣленія водоносныхъ слоевъ часто бываютъ ошибочны. Особенно это важно въ мѣстахъ, занятыхъ кочевымъ населеніемъ, которое привыкло пользоваться часто плохую поверхностною водою, тогда какъ иногда неглубоко въ почвѣ имѣется хорошая вода.

Вопросъ о ширинѣ полосы, занимаемой подъ проектируемую линію, также не долженъ быть упускаемъ изъ виду. Иногда проведеніемъ

линіи по хорошо культивированнымъ виноградникамъ можно получить ничтожныя земляныя работы; но отчужденіе земли на версту такой линіи можетъ достигнуть до суммы въ 50 тысячъ рублей, что указываетъ на выгоду отклоненія линіи, хотя бы и увеличивая работы.

Ширина полосы отчужденія обыкновенно бываетъ между 12-ю и 25-ю сажеными; въ мѣстахъ, гдѣ предполагаются крупныя земляныя работы, отчужденіе для резервовъ часто берется значительно шире нормальнаго. Если при изысканіяхъ составляется и планъ отчужденія, что имѣетъ много удобствъ, то надо съ особеннымъ вниманіемъ отнестись къ тѣмъ мѣстамъ линіи, гдѣ встрѣчается возможность разрабатывать карьеры камня и балласта, и такія мѣста ввести какъ уширеніе въ полосу отчужденія. Добавочныя отчужденія подъ станціи, отъ 12-ти до 20-ти десятинъ, также должны быть указаны на планѣ отчужденія, также какъ и отчужденіе по линіямъ водопроводовъ.

Свѣдѣнія о качествѣ строительныхъ матерьяловъ добываются изученіемъ матерьяловъ на мѣстѣ, а стоимость ихъ опредѣляется мѣстными цѣнами, полученными отъ торговцевъ и мѣстныхъ жителей; но при этомъ всегда надо имѣть въ виду, что цѣна матерьяловъ, въ виду усилившейся потребности при сооруженіи пути или поднимается, или, при возможности развитія конкуренціи, падаетъ. Весьма существенное значеніе для сооруженія пути имѣютъ также цѣны на хлѣбъ и другіе пищевые продукты, потребныя для рабочихъ, а также высота заработной платы, годовая и временная, и средства и стоимость перевозки.

Вышесказанное относится преимущественно къ изысканіямъ, производимымъ съ цѣлью собрать достаточно свѣдѣній къ составленію исполнительнаго проекта пути. Если же постройка производится тотчасъ же послѣ изысканій, такъ называемыхъ окончательныхъ, то къ нимъ остается только произвести дополнительныя работы по разбивкѣ пути на мѣстѣ, съ назначеніемъ ширины полотна, обозначеніемъ кольями высоты насыпей и ямами начала выемокъ, опредѣленіемъ съ помощью визирокъ точекъ переходовъ изъ выемокъ въ насыпи, такъ какъ вычисленные по профили переходы рѣдко совпадаютъ съ дѣйствительными.

Когда между изысканіями и постройкой проходитъ достаточно времени, то кольца, обозначающія линію, часто теряются и возобновленіе линіи требуетъ иногда не менѣе времени, чѣмъ и самыя изы-

сканія. Возобновленіе ліній інструментально съ профили по немногимъ найденнымъ точкамъ часто ведетъ къ большимъ отклоненіямъ, и поэтому, прежде чѣмъ начать инструментальную повѣрку линій, всегда выгоднѣе потратить нѣкоторое время на отысканіе всѣхъ уцѣлѣвшихъ точекъ, при чемъ, отлагая критику до полного возобновленія линій, надо пользоваться инструментами только какъ пособіемъ къ отысканію старыхъ колевъ.

Если изысканія были производимы другимъ лицомъ, то каждый серьезный работникъ всегда отнесется съ достаточной осторожностью къ сужденію о чужомъ трудѣ, и если даже будетъ подозрѣвать ошибку, то постарается прежде всего опредѣлить ея границы, чтобы одна ошибка не заслонила собой части работы, имѣющія достоинства. Понятно, что это не уничтожаетъ потребности въ широкой критикѣ и передъ началомъ работы нерѣдко приходится на значительное протяженіе мѣнять ливію.

Иногда приходится имѣть дѣло съ линіями ошибочно задуманными или проведенными подъ давленіемъ лицъ малой компетентности, но превосходно разработанными технически во всѣхъ деталяхъ; иногда же встрѣчаются ливіи вѣрно намѣченныя, но разработанныя небрежно. На обѣ эти крайности, по оригинальной случайности, авторъ можетъ привести примѣры изъ личной его практики на одной и той же ливіи Самтреді-Батумской желѣзной дороги.

Примѣромъ перваго можетъ служить часть линіи отъ перехода рѣки Суссы до рѣки Нотанебы, гдѣ линія была, благодаря вмѣшательству стратегическихъ соображеній, отклонена вверхъ по рѣкѣ Суссѣ, затѣмъ развита косогорами рѣки Сускуры, впадающей въ Суссу слѣва, пересѣкала водораздѣлъ съ пливучимъ грунтомъ и опять спускалась къ р. Нотанебѣ, причемъ получались крупныя работы, значительной частью въ скалистомъ грунтѣ, много подпорныхъ стѣнокъ и удлиненіе линіи, кромѣ ея кривизны, еще плохо мотивированнымъ подъемомъ на высоту около 50-ти сажень. Изысканія были произведены чрезвычайно тщательно, но съ перваго взгляда было видно, что стоимость работъ значительно превзойдетъ сдѣланную на основаніи изысканій расцѣнку.

При окончательныхъ изысканіяхъ было разъяснено, что линія вдоль моря, минуя отроги Гурійскихъ горъ, кромѣ сокращенія длины на пять верстъ и техническихъ удобствъ горизонтальной линіи, и

въ стратегическомъ отношеніи не представляетъ тѣхъ неудобствъ, которыя были приняты за основаніе при изысканіяхъ. Такимъ путемъ получилаcя линія болѣе короткая и съ сокращеніемъ работъ на сотни тысячъ.

Примѣромъ второго случая явилось продолженіе этой линіи около Цихедзири, гдѣ при изысканіяхъ стратегическія требованія были оставлены безъ выполненія, хотя въ этомъ мѣстѣ обходъ по рѣчкамъ сзади Цихедзирскихъ позицій и представлялъ несомнѣнно болѣе техническихъ указаній, чѣмъ обходъ по р. Суспурѣ. У Цихедзири линія проходитъ надъ самымъ моремъ по краю скалъ и при изысканіяхъ была проведена очень высоко, можетъ быть потому, что пройти по скаламъ ниже съ инструментами казалось затруднительнымъ. Вслѣдствіе этой ошибки, которая была очевидна при первомъ сличеніи профили съ мѣстностью, сооруженія для пропуска воды получились очень цѣпкими, откосы насыпей ложились далеко въ море и требовали высокихъ подпорныхъ стѣнъ тамъ, гдѣ волна, по особому очертанію берега, бьетъ очень сильно. При окончательныхъ изысканіяхъ линія была значительно понижена и профиль получилась съ меньшими уклонами и съ меньшими работами.

Вообще въ дѣлѣ изысканій правильное сужденіе о сущности выбраннаго направленія всегда цѣннѣе въ смыслѣ выполнимости работъ по сооруженію, нежели тщательная разработка плохо задуманнаго направленія. Постройка нашихъ дорогъ представляетъ не мало примѣровъ такихъ ошибокъ, изъ которыхъ можно извлечь не мало пользы, рассматривая ихъ какъ поученіе для будущихъ работъ. Картинный примѣръ въ этомъ отношеніи представляетъ постройка послѣдняго участка Севастопольской дороги, собственно переходъ изъ долины Черной рѣчки въ долину р. Бельбекъ.

По первоначальнымъ изысканіямъ было опредѣлено пересѣченіе долины Черной рѣчки черезъ конецъ Большого рейда съ работами, трудно выполнимыми. Впослѣдствіи былъ сдѣланъ вариантъ перехода черезъ Черную рѣчку около Инкерманскаго монастыря, и работы получились значительно меньше, настолько, что рѣшено было строить дорогу по этому направленію. Линія по этому варианту была проведена съ тѣмъ расчетомъ, чтобы протяженіе тоннелей было возможно менѣе, а вмѣсто получавшихся насыпей были предложены вѣдуки. Во время окончательныхъ изысканій при началѣ постройки

принято было въ руководство, ида приблизительно по тому же направлеию, проектировать значительное число тоннелей съ тѣмъ, чтобы уменьшить по возможности высоту насыпей. Результатомъ этого рѣшенія было то, что расчеты строителей, основанные на хорошей въ смыслѣ выгодности расцѣнкѣ послѣдняго участка, ушли на оказавшіяся весьма цѣнными по новостя дѣла тоннельныя работы; тоннели потребовали обдѣлки, работы въ узкихъ выемкахъ обошлись очень дорого, и въ общемъ мечты не оправдались дѣйствительностью. Эти примѣры, указывающіе на ошибки, возможные и при тщательномъ обсужденіи условій сооруженія, служатъ для выясненія того значенія, которое изысканія имѣютъ для сбереженія времени и расходовъ на сооруженіе пути. Положимъ, это старая истина, но частое повтореніе не вредитъ ея авторитетности.

Исполнительная профиль составляетъ иногда въ масштабѣ для горизонтальныхъ разстояній вдвое большею, чѣмъ общепринятый въ 0,0001. Для профиля отдѣльнаго участка такое увеличеніе имѣеть нѣкоторую выгоду, напримѣръ для замѣтокъ во время производства работъ; но общую профиль линіи всегда удобнѣе составлять въ общепринятомъ масштабѣ. Полезно также на планѣ отчужденія, составивъ его въ масштабѣ 0,0001, наносить и откосы насыпей и выемокъ, а также искусственныя сооруженія, и тогда такой планъ для ежедневнаго руководства во время сооруженія линіи можетъ быть очень пригоднымъ, какъ болѣе наглядное изображеніе линіи, чѣмъ профиль.

Въ мѣстахъ, гдѣ предполагаются сооруженія, и вообще по линіи, покрайней мѣрѣ на каждыя двѣ версты ея протяженія, а въ горныхъ мѣстахъ и чаще, необходимо оставлять въ сторонѣ отъ линіи постоянныя точки (реперы), связанные съ линіей нивелировкой; онѣ должны сохраняться во все время сооруженія путя и на ихъ постановку при окончательныхъ изысканіяхъ должно быть обращено особое вниманіе. Для постоянныхъ точекъ годятся основанія строеній вблизи линіи, спиленныя деревья, большія камни попадающіеся вблизи, или камелные столбики, поставленные съ этой цѣлью, а чаще всего деревянныя столбы съ крестомъ на концѣ, зарытомъ въ землю, чтобы затруднить осадку репера. На каждомъ реперѣ сперва надписывается его номеръ, а потомъ, когда послѣ тщательной повѣрки нивелировки выяснятся точныя отмѣтки реперовъ, надписываются и эти отмѣтки съ дробью въ тысячныхъ доляхъ сажени.

Кромѣ реперовъ, во время постройки требуютъ особой заботы для ихъ сохраненія колья, обозначающіе начала и концы кривыхъ. Тамъ гдѣ это возможно, для легчайшаго опредѣленія положенія прямыхъ ставятся углы, но это удобно только на равнинахъ; въ горныхъ же и косогорныхъ мѣстахъ постановка угловъ не всегда приноситъ пользу, а иногда возможно бываетъ обозначить только центральные углы; въ такомъ случаѣ для сохраненія линіи остаются только колья, опредѣляющіе прямую въ началѣ и концѣ кривыхъ.

Скорость работы по окончательнымъ изысканіямъ находится въ зависимости отъ мѣстности. Тогда какъ на равнинахъ не трудно дать въ мѣсяцъ вполне точную линію верстъ на 200, въ горахъ, особенно покрытыхъ лѣсомъ, съ крутыми косогорами, въ мѣсяцъ усиленной работы иногда нельзя сдѣлать болѣе 15-ти или 20-ти верстъ.



# КУРСЪ ГИДРАВЛИКИ.

---

Лекціи читанныя въ Институтѣ инженеровъ путей сообщенія  
Императора Александра I.

---

СОСТАВИЛЪ

**Ф. Е. Максименко,**

инженеръ путей сообщенія

ЭКСТРАОРДИНАРНЫЙ ПРОФЕССОРЪ ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ  
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I И ПРЕПОДАВАТЕЛЬ ГОРНАГО ИНСТИТУТА.

---

ВЫПУСКЪ ЧЕТВЕРТЫЙ

---

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Типографія Ю. Н. Эрликъ, Садовая, № 9.  
1890.

Печатано по распоряженію Института инженеровъ путей сообщенія  
ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I.

# Содержаніе 4-го выпуска.

## II. Движеніе жидкости по трубамъ.

(Продолженіе).

	стр.
§ 49. Сравненіе между собою формулъ для скорости движенія. Формулы для трубъ новыхъ и бывшихъ въ службѣ . . . . .	269
§ 50. Мѣстныя сопротивленія въ трубкахъ: уширенія, суженія, діафрагмы, колѣна, закругленія, краны, клапаны и т.д. . . . .	284
§ 51. Простой водопроводъ. Рѣшеніе задачъ относящихся къ простому водопроводу. Случай сифона . . . . .	293
§ 52. Уравненіе для неравномѣрнаго движенія. Потеря напора для трубъ съ переменнымъ діаметромъ и для трубъ съ переменнымъ расходомъ . . . . .	311
§ 53. Сложный водопроводъ съ постояннымъ діаметромъ и переменнымъ расходомъ. Потеря напора въ узлахъ. Случай магистральной и главной водопроводной линій . . . . .	312
§ 54. Сложный водопроводъ съ двумя резервуарами. Случай трубы питающей съ обоихъ концовъ . . . . .	326

### § 49. Сравненіе между собою формулъ для скорости движенія. Формулы для трубъ новыхъ и бывшихъ въ службу.

Какъ видно изъ предыдущаго § для опредѣленія скорости движенія и потери напора въ трубахъ предложено довольно много формулъ. Такъ какъ эти формулы нерѣдко даютъ результаты значительно отличающіеся другъ отъ друга, то необходимо выяснитъ, какую изъ нихъ слѣдуетъ примѣнять при рѣшеніи практическихъ задачъ. Вопросомъ о выборѣ формулы для сей послѣдней цѣли занимался многіе гидравлики, но только въ послѣднее время онъ нѣсколько подвинулся въ своемъ рѣшеніи благодаря главнымъ образомъ трудамъ Смитза.

Очевидно, той формулѣ должно быть отдано предпочтеніе, которая лучше всего сомамуется съ опытными данными. Къ сожалѣнію эти послѣдніе не всегда представляютъ достаточно надежный матеріалъ и иногда противорѣчивы между собою. Какъ теперь выяснено, опыты надъ движеніемъ воды въ трубахъ требуютъ многіихъ предосторожностей и особой тщательности въ исполненіи, а изъ произведенныхъ опытовъ не всѣ и не въ одинаковой степени удовлетворяютъ этимъ условіямъ. Поэтому прежде всего необходимо тщательно пересмотрѣть всѣ опыты и изъ нихъ руководствоваться только тѣми, которые относительно выполненія не могутъ возбудить никакихъ сомнѣній. Такой анализъ опытовъ былъ сдѣланъ Смитзомъ; не входя въ подробности этого анализа, замѣтимъ только, что Смитзъ, не отрицая важнаго значенія опытовъ Дарси, находитъ ихъ однако недостаточно точными (стр. 234 и 235), а опыты общества германскихъ инженеровъ и архитекторовъ (стр. 252 и 253) онъ считаетъ еще менѣе точными.

Въ дальнѣйшемъ изложеніи мы будемъ опираться на опыты признанные наиболѣе достовѣрными и при этомъ будемъ обращать главное вниманіе на скорость движенія. Такъ какъ  $V = C\sqrt{Ri}$ , гдѣ коэффициентъ  $C$  величина переменная, то постараемся прежде всего подмѣтить, какъ именно измѣняется этотъ коэффициентъ. Оказывается, что для каждой трубы коэффициентъ  $C$  увеличивается со скоростью; это увеличеніе хорошо видно напр. изъ опытовъ Смитза надъ трубами какъ большаго діаметра (стр. 246), такъ и малаго (стр. 233 и 250). Законъ измѣненія коэф.  $C$  съ увеличеніемъ  $V$  виденъ также изъ чер. 139, гдѣ по оси  $X$  отложены значенія  $V$ , а по оси  $Y$  соотвѣтственныя

величины  $C$  взяты изъ опытовъ Смитза надъ тремя желѣзными сварочными трубами (стр. 233); чережь показываетъ, что  $C$  возрастаетъ быстро при малыхъ скоростяхъ (отъ 1 до 2 фут.) и медленно— при большихъ. Нѣкоторыя значенія  $C$ , какъ напр. въ опытѣ Стирнса № 282 (стр. 251) и въ опытѣ Смитза № 338 (стр. 250), являются исключеніемъ и указываютъ на вѣроятную погрѣшность въ наблюденіи.

Если затѣмъ сравнить значенія  $C$  при однихъ и тѣхъ же скоростяхъ для разныхъ трубъ приблизительно съ одинаковою степенью шероховатости, напр. опыты Стирнса надъ асфальтированной чугунной трубой діаметра 4 ф. и опыты Лампе надъ таковой же трубой діаметра 1,373 ф., или напр. тѣ же опыты Стирнса и опыты Смитза въ Норвѣ-Блумфельдѣ, то оказывается, что коэф.  $C$  *увеличивается съ діаметромъ* трубы или, что тоже самое, съ *гидравлическимъ радіусомъ*.

Наконецъ и степень шероховатости значительно вліяетъ на коэффиціентъ  $C$ . Сравнимъ напр. опыты Смитза въ Нью-Альмеденѣ серій четвертой и пятой (стр. 250); діаметры трубъ въ этихъ опытахъ разлчаются очень мало, но трубы серіи 4-й были асфальтированныя, а серіи 5-й неасфальтированныя, бывшія въ употребленіи 2 года и внутри покрытыя тонкимъ слоемъ твердаго остатка; при однихъ и тѣхъ же скоростяхъ коэф.  $C$  для серіи 4-ой оказывается больше чѣмъ для серіи 5-ой. Подобное же явленіе замѣчаемъ, сопоставляя тѣ же опыты Смитза относящіяся къ серіямъ 5-ой и 10-ой; труба въ опытахъ этой послѣдней серіи была деревянная, діаметръ ея былъ нѣсколько больше діаметра трубы служившей для опытовъ 5-ой серіи, а потому, если бы степень шероховатости обѣихъ трубъ была одинакова, то значенія коэф.  $C$  для серіи 10-ой должны были бы быть нѣсколько больше чѣмъ для серіи 5-ой; въ дѣйствительности же опыты показываютъ значительное уменьшеніе коэф.  $C$  для 10-ой серіи, что слѣдуетъ приписать вліянію шероховатости трубы на скорость. Такимъ образомъ можно считать вполне доказаннымъ, что чѣмъ *больше шероховатость* внутренней поверхности трубы, тѣмъ *меньше скорость* и слѣдовательно коэффиціентъ  $C$ .

Итакъ, величина коэффиціента  $C$  обусловливается *тремя факторами*: скоростью, гидравлическимъ радіусомъ и шероховатостью. Поэтому, если формула для скорости должна примѣняться къ трубамъ разной степени шероховатости, то она должна имѣть коэффиціентъ  $C$ , который зависѣлъ бы отъ всѣхъ трехъ вышепоименованныхъ факто-

ровъ. Если же примѣненіе формулы ограничивается трубами только одной какой либо шероховатости, то въ этой формулѣ коэффициентъ  $C$  долженъ заключать два первые фактора—скорость и гидравлическій радиусъ; въ этомъ случаѣ шероховатость должна быть выбрана такой, какая чаще всего встрѣчается въ практикѣ. Въ настоящее время чугунныя и желѣзныя трубы всегда асфальтируются, т. е. покрываются снаружи и внутри особымъ составомъ, состоящимъ изъ асфальта и каменноугольнаго дегтя. Этотъ составъ въ значительной степени предохраняетъ трубы отъ образованія осадковъ, такъ что шероховатость асфальтированныхъ трубъ измѣняется съ теченіемъ времени гораздо менѣе, чѣмъ неасфальтированныхъ. Слѣдовательно въ формулѣ для скорости должна предполагаться шероховатость асфальтированной поверхности или новой или нѣсколько измѣненной осадками.

Изъ всѣхъ извѣстныхъ формулъ только *три*, а именно: Гангилле-Буттера, Вехаге и Гоклера \*), удовлетворяютъ тому условію, что коэффициентъ  $C$  зависитъ отъ всѣхъ трехъ факторовъ; хотя въ первой изъ этихъ формулъ въ коэффициентъ  $C$  входятъ величины  $R$ ,  $n$  и  $i$ , но такъ какъ  $V$  есть функція  $i$ , то слѣдовательно можно считать, что  $C$  зависитъ отъ  $R$ ,  $n$  и  $V$ .

\*) На основаніи опытовъ Дарси Гоклеръ даетъ слѣдующую формулу для движенія воды въ трубахъ:

$$\sqrt{V} + \beta R \sqrt[4]{V} = 1,587 \alpha \gamma \sqrt[3]{R} \sqrt[4]{i};$$

откуда:

$$V = \frac{2,519 \alpha^2 \gamma^2 \sqrt[6]{R}}{\left(1 + \frac{\beta R}{\sqrt[4]{V}}\right)^2} \sqrt{Ri} = C \sqrt{Ri} \dots \dots \dots (148)$$

гдѣ:

$$\begin{array}{lll} \beta = 1 & \gamma = 1 & (\text{для метровъ}) \\ \beta = 0,41 & \gamma = 1,219 \text{ и } \gamma^2 = 1,486 & (\text{для футовъ}) \end{array}$$

Въ этой формулѣ  $\alpha$ —коэффициентъ шероховатости, равный: 7—для свинцовыхъ и асфальтированныхъ трубъ, 6,7—для стальныхъ, 6,625—для новыхъ чугунныхъ неасфальтированныхъ, 6,4—для сварочныхъ желѣзныхъ неасфальтированныхъ, и 5,5—для трубъ покрытыхъ осадками. Въ приложеніяхъ Гоклеръ совѣтуетъ принимать для расчета послѣдній коэффициентъ.

Gaukler. „Du mouvement de l'eau dans les conduites“. Annales des ponts et chaussées. 1868.

Формула Вехаге выведена преимущественно на основаніи опытовъ Смитаа, она

Формулы же съ коэффициентомъ  $C$ , заключающимъ  $V$  и  $R$  и соответствующимъ одной какой либо степени шероховатости, какъ видно изъ § 48, всего *четыре*, а именно: Дюбуа, Хагена, Невлля и Лампе.

Отсюда видно, что дальнѣйшему сравненію могли бы подлежать собственно только перечисленныя *семь* формулъ; однако для большей общности мы не будемъ упускать изъ виду и другихъ извѣстныхъ намъ формулъ. Сравненіе формулъ, какъ было уже упомянуто, должно быть произведено на основаніи имѣющихся опытныхъ данныхъ. При помощи этихъ данныхъ Смитъ опредѣлялъ вѣроятнѣйшія величины скоростей для трубъ различныхъ диаметровъ при различныхъ гидравлическихъ уклонахъ, въ предположеніи, что трубы — *новыя асфальтированныя*. Въ таблицѣ XXXIX (стр. 273) составленной Смитомъ и нами дополненной, показаны скорости опредѣленныя Смитомъ, а также скорости получающіяся по 11 различнымъ формуламъ; въ послѣдней графѣ приведены скорости вычисленныя по формулѣ (149), составленной нами на основаніи наиболѣе достовѣрныхъ опытовъ (см. стр. 274). Въ этой таблицѣ жирно напечатаны числа ближе другихъ подходящія (отклоняющіяся не болѣе 10% въ ту и другую сторону) къ опытнымъ даннымъ, приведеннымъ въ графѣ „Смитъ“.

имѣть видъ формулы Вейсбаха съ тѣмъ только отличіемъ, что коэффициентъ  $b$  формулы Вейсбаха представляется въ ней дробью.

$$b = m + \frac{n}{l},$$

гдѣ  $m$  и  $n$  численные коэффициенты. Такъ что по по формулѣ Вейсбаха получается:

$$\frac{t}{d} = Ri = \left( a + \frac{b}{\sqrt{V}} \right) V^2 = \left[ a + \left( m + \frac{n}{R} \right) \frac{1}{\sqrt{V}} \right] V^2;$$

слѣдовательно:

$$V = \sqrt{\frac{1}{a + \left( m + \frac{n}{R} \right) \frac{1}{\sqrt{V}}}} \sqrt{Ri} \dots \dots \dots (148a)$$

здесь:

$m = 0,009$	$n = 0,000635$	(для метровъ)
$m = 0,00497$	$n = 0,000634$	(для футовъ)

$a$ —коэффициентъ шероховатости, для мѣръ въ метрахъ равный: 0,0182—для новыхъ асфальтированныхъ трубъ, 0,0258 — для старыхъ трубъ съ осадками, 0,0424 — для деревянныхъ трубъ, а для мѣръ въ футахъ соответственно равный: 0,00402, 0,00786 и 0,01292.

Weyhage. „Ueber den Leitungswiderstand von Röhren“. Dingler's Polytechnisches Journal. 1884, Band 252, S. 89.

Пределы диаметров труб назначены 0,1 ф. и 4 ф.; металлические трубы диаметра больше 4 ф. редко употребляются в практикѣ.

Таблица XXXIX

скоростей определенных по наибольше известнымъ формуламъ для новыхъ асфальтированныхъ трубъ различ. диаметровъ (мѣры въ футахъ).

D футы.	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Смитъ.	Куттера, n=0,01	Лапе.	Дюбоя.	Хагеля.	Невля.	Дарси.	Вейсбаха.	Прокк.	Леви.	Франка	Форм. (149).
0,1	0,005	0,87	0,59	<b>0,83</b>	0,98	1,14	1,02	<b>0,94</b>	1,01	1,01	1,10	<b>0,78</b>	<b>0,87</b>
	0,15	6,21	3,24	5,48	7,43	<b>6,37</b>	6,86	5,14	<b>6,78</b>	<b>5,86</b>	<b>6,05</b>	4,25	<b>5,83</b>
	0,4	10,46	5,29	<b>9,45</b>	12,96	<b>10,42</b>	11,63	8,39	<b>11,50</b>	<b>9,62</b>	<b>9,88</b>	6,95	<b>9,70</b>
0,5	0,001	0,99	<b>0,98</b>	<b>1,04</b>	<b>0,99</b>	1,13	1,02	1,18	<b>1,01</b>	<b>1,01</b>	1,18	<b>1,05</b>	<b>1,01</b>
	0,025	6,04	5,02	<b>6,20</b>	<b>6,40</b>	5,81	<b>6,22</b>	<b>5,89</b>	<b>6,13</b>	5,34	<b>5,89</b>	5,23	<b>6,41</b>
	0,065	10,10	8,10	<b>10,56</b>	11,41	<b>9,38</b>	<b>10,41</b>	<b>9,49</b>	<b>10,28</b>	8,67	<b>9,49</b>	8,43	<b>10,58</b>
1,0	0,0004	0,95	<b>1,03</b>	<b>1,01</b>	<b>0,86</b>	<b>1,03</b>	<b>0,89</b>	1,09	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	1,10	<b>1,04</b>	<b>0,91</b>
	0,025	9,56	8,50	<b>10,03</b>	<b>9,29</b>	8,24	<b>9,04</b>	<b>8,64</b>	<b>8,94</b>	7,59	<b>8,69</b>	8,23	<b>10,03</b>
	0,1	19,6	17,0	21,6	<b>21,4</b>	16,51	<b>18,92</b>	17,3	<b>18,7</b>	15,3	17,38	16,47	<b>20,53</b>
2,0	0,00017	1,00	<b>1,08</b>	<b>1,02</b>	0,77	<b>0,95</b>	0,81	<b>1,03</b>	0,81	0,82	<b>1,07</b>	<b>1,05</b>	0,87
	0,008	4,90	<b>4,83</b>	<b>5,00</b>	<b>4,76</b>	4,04	4,16	4,32	4,10	3,68	<b>4,50</b>	<b>4,42</b>	<b>5,05</b>
	0,025	13,43	<b>13,99</b>	<b>16,22</b>	13,38	11,67	13,10	12,46	12,96	10,77	12,99	12,77	<b>15,63</b>
4,0	0,00007	1,03	<b>1,09</b>	<b>1,01</b>	0,66	0,87	0,72	<b>0,94</b>	0,72	0,73	<b>1,04</b>	<b>1,03</b>	0,80
	0,0012	4,84	<b>4,87</b>	<b>4,87</b>	3,28	3,62	3,63	3,90	3,63	3,28	4,33	4,28	<b>4,82</b>
	0,01	15,5	<b>14,1</b>	<b>15,8</b>	11,08	10,45	11,63	11,3	11,5	9,63	12,44	12,35	<b>15,12</b>

Изъ приведенной таблицы видно, что наиболше удовлетворительные результаты получаются по 2 формуламъ: Лапе и (149); эти результаты разнятся отъ опытныхъ данныхъ болше чѣмъ на 10%, только въ 2 случаяхъ изъ 15; довольно удовлетворительными оказываются также формулы Галгиле-Куттера, Вейсбаха и Леви, именно онѣ даютъ въ 7 случаяхъ изъ 15—результаты отклоняющіеся болше чѣмъ на 10%. По формуламъ Вейсбаха и Невля получаются результаты

почти тождественные — обстоятельство довольно замѣчательное, если обратить вниманіе на совершенно различный характеръ этихъ формулъ.

Формула Лампе можетъ быть употребляема для расчета новыхъ асфальтированныхъ трубъ какъ малаго, такъ и большого діаметра безъ опасенія сколько нибудь значительной погрѣбности; тоже самое слѣдуетъ сказать и относительно формулы (149) съ тѣмъ только замѣчаніемъ, что для трубъ крупнаго діаметра (3 ф. — 4 ф.) при малыхъ скоростяхъ (до 1,5 ф.) она даетъ для скорости величины нѣсколько низкія. Эта формула имѣетъ слѣдующій видъ (мѣры въ футахъ):

$$V = \sqrt{\frac{1}{0,00004 \left( \frac{1}{\sqrt{R}} + \frac{1,4}{V} \right)}} \sqrt{Ri} \dots (149)$$

Она представляетъ частный случай другой, болѣе общей, формулы съ коэффициентомъ шероховатости  $k$  и получается изъ этой послѣдней полагая въ ней  $k=1$ ; видъ общей формулы такой:

$$V = \sqrt{\frac{1}{0,00004 k \left( \frac{1}{\sqrt{R}} + \frac{0,35(k-3)^2}{V} \right)}} \sqrt{Ri} \dots (150)$$

По этой формулѣ величина  $\frac{l}{\Delta} = Ri$ , также какъ и въ формулѣ Проня, выражается двучленомъ  $bV + aV^2$ , а именно:

$$\begin{aligned} \frac{l}{\Delta} &= Ri = \left( a + \frac{b}{V} \right) V^2 = \\ &= 0,00004 k \left( \frac{1}{\sqrt{R}} + \frac{0,35(k-3)^2}{V} \right) V^2 \dots (150a) \end{aligned}$$

Формула Гангвалье-Куттера даетъ также хорошіе результаты для трубъ большого діаметра; при малыхъ же діаметрахъ получаются слишкомъ низкія величины скоростей; такъ какъ составители этой формулы предназначали ее для опредѣленія скоростей въ каналахъ и рѣкахъ, т. е. въ большихъ потокахъ, то быть можетъ нѣкоторое измѣненіе въ ней привело бы ее къ большому согласію съ опытомъ

въ случаѣ малыхъ диаметровъ трубъ. Такая измѣненная формула имѣла бы преимущество передъ формулой Лампе въ томъ отношеніи, что коэффициентъ шероховатости  $n$ , входящій въ формулу Гангилье-Кутгера, позволилъ бы опредѣлять скорость въ трубахъ съ разнообразною степенью шероховатости, чего нельзя сдѣлать помощью формулы Лампе\*).

Смитъ предлагаетъ пользоваться вмѣсто формулъ нижеприведенной таблицей XL, составленной имъ на основаніи опытныхъ данныхъ и дающей прямо величины  $C$  для различныхъ диаметровъ и скоростей.

Таблица XL

значеній  $C$  въ формулѣ  $V = C\sqrt{Ri}$  для новыхъ асфальтированныхъ трубъ, составленная Смитзомъ. (Мѣры въ футахъ).

скорости $V$ футы.	ДИАМЕТРЫ ТРУБЪ ВЪ ФУТАХЪ.												
	0,05	0,1	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8
1 (°)	—	80,0	96,1	102,8	108,8	112,7	116,7	120,2	123,0	127,8	131,8	134,8	137,5
2	77,8	88,9	104,0	110,9	116,2	120,3	123,8	127,0	129,9	134,3	138,0	141,0	143,3
3	82,4	93,7	108,7	115,6	120,8	124,8	128,3	131,4	134,2	138,6	142,3	145,4	147,6
4	85,6	97,0	112,0	118,9	124,0	128,1	131,5	134,6	137,4	141,9	145,5	148,6	151,0
5	87,6	99,3	114,4	121,3	126,5	130,6	134,1	137,1	140,0	144,7	148,1	151,2	153,6
6	89,1	101,0	116,3	123,2	128,6	132,6	136,3	139,4	142,3	146,9	150,5	153,5	—
7	90,0	102,4	118,0	125,0	130,4	134,6	138,2	141,5	144,5	149,0	152,7	—	—
8	90,6	103,3	119,3	126,4	132,0	136,3	140,0	143,3	146,3	151,0	154,9	—	—
9	90,7	104,0	120,4	127,7	133,3	137,7	141,6	145,0	148,1	152,8	156,7	—	—
10	90,8	104,5	121,4	128,8	134,5	139,0	142,9	146,6	149,7	154,6	—	—	—
11	90,9	104,7	122,0	129,7	135,6	140,2	144,2	147,7	151,0	—	—	—	—
12	91,0	104,8	122,5	130,4	136,4	141,1	145,2	148,8	152,2	—	—	—	—
13	91,0	105,0	122,9	131,0	137,1	141,9	146,1	149,8	153,2	—	—	—	—
14	91,0	105,0	123,2	131,5	137,6	142,5	146,7	150,5	154,0	—	—	—	—
15	91,0	105,0	123,6	131,8	138,0	142,9	147,2	151,1	154,6	—	—	—	—
20 (°)	—	—	123,9	132,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—

\*) О примѣненіи формулы Гангилье-Кутгера къ расчету трубъ см. *Knauff*: „Formeln für städtische Leitungen“. Gesundheits-Ingenieur. 1887. S. 13 u. 57.

Такимъ образомъ при помощи таблицы Смитза или вышеупомянутыхъ формулъ можно всегда опредѣлить скорость для новыхъ асфальтированныхъ трубъ.

Но такъ какъ внутренняя поверхность такихъ трубъ съ продолжительностью ихъ службы измѣняется вслѣдствіе осадковъ, отчего скорость и расходъ уменьшаются, а потеря напора увеличивается, то поэтому въ практическомъ отношеніи весьма важно умѣть рассчитывать трубы такимъ образомъ, чтобы и послѣ продолжительной службы онѣ давали расходъ *не меньше* заданной величины.—Вслѣдствіе того, что величина и характеръ осадковъ обуславливаются продолжительностью службы трубы, свойствами протекающей воды и первоначальнымъ состояніемъ поверхности трубы (напр. асфальтированная и неасфальтированная поверхность), т. е. обстоятельствами крайне разнообразными и измѣняющимися въ широкихъ предѣлахъ, нѣкоторые авторы, какъ напр. Смитъ, считают даже невозможнымъ опредѣлить сколько-нибудь точно вліяніе осадковъ на движеніе воды въ трубахъ. Не отрицая этого мнѣнія, мы однако полагаемъ, что при отсутствіи общаго и точнаго рѣшенія вопроса о вліяніи осадковъ на движеніе могутъ быть полезными для практическихъ цѣлей и тѣ немногіе выводы, которые возможно получить изъ имѣющихся въ настоящее время опытовъ.

Осадки вліяютъ на потерю напора и на скорость двоякимъ образомъ: 1) они увеличиваютъ шероховатость поверхности, и 2) уменьшаютъ поперечное сѣченіе трубы. Изъ опытовъ Дарси видно (стр. 259), что въ испытанныхъ имъ трубахъ уменьшеніе сѣченія было незначительно, между тѣмъ увеличеніе потерп напора было велико (отъ 1,66 до 2,50 разъ); поэтому необходимо заключить, что въ этихъ трубахъ увеличеніе потеря напора происходило главнымъ образомъ вслѣдствіе первой причины, т. е. отъ увеличенія шероховатости. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ осадки уменьшаютъ сѣченіе въ болѣе значительной степени, такъ что діаметръ уменьшеннаго сѣченія можетъ равняться напр. 0,8 или 0,7 діаметра первоначальнаго сѣченія; но изъ форм. (134 а) видно, что потерп напора при равенствѣ всѣхъ прочихъ величинъ обратно пропорціональны *пятымъ* степенямъ діаметровъ, слѣдов. потери напора только вслѣдствіе уменьшенія сѣченія должны увеличиться соотвѣтственно въ  $\left(\frac{1}{0,8}\right)^5 = 3$  раза.

въ  $\left(\frac{1}{0,7}\right)^3 = 6$  разъ; а такъ какъ, очевидно, въ тоже время будетъ дѣйствовать также и первая причина, то увеличеніе потери напора отъ осадковъ въ дѣйствительности будетъ еще больше. Чрезмѣрное увеличеніе потери напора въ трубахъ Гамбургскаго водопровода (напр. для трубы неасфальтированной діаметромъ 305 милл., пролежавшей 15 лѣтъ, потеря напора увеличилась приблизительно въ 3,5 раза, а для таковой же трубы, служившей 22 года—въ 5,5 разъ) ничѣмъ другимъ, какъ значительнымъ уменьшеніемъ сѣченія трубы, объяснено не можетъ быть. Въ подобныхъ случаяхъ издержки на эксплуатацію водопровода возрастаютъ до такой степени, что становится выгоднымъ, какъ показала *Ибенъ*, замѣнять старыя трубы — новыми \*). Очевидно, не экономно допускать такое сильное заростаніе трубъ осадками и необходимо ихъ подвергать періодической очисткѣ механическими средствами, какъ это было сдѣлано напр. въ Омагѣ, Бредфордѣ, Дунди, Карьеруэ и др. городахъ \*\*).

Въ виду того, что съ одной стороны заростаніе трубъ по своей величинѣ врядъ-ли подлежитъ даже приблизительному опредѣленію, а съ другой стороны заростаніе, встрѣчаясь не очень часто, вообще не является непремѣннымъ слѣдствіемъ долголѣтней службы трубъ и въ случаѣ надобности можетъ быть устранено соответственными

\*) *O. Iben*. Druckhöhen-Verlust in geschlossenen eisernen Rohrleitungen. Hamburg. 1880.

\*\*) Различные способы механической очистки трубъ отъ твердыхъ осадковъ, результаты достигаемые этими способами, а равно стоимость самой очистки подробно описаны въ статьѣ *Jamieson*: „The Internal Corrosion of Cast-iron Pipes“, помѣщенной въ Minutes of Proceedings of the Institution of Civil-Engineers. Vol. LXV, 1881, p. 323. Дополненный переводъ этой статьи см. *O. Iben*: „Uebersicht Wasserleitungen u. deren Reinigung“, Journal für Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung. 1887. S. 716. Наиболее часто применяется въ этихъ работахъ приборъ Кеннеди, изобретенный компаніей Гленфильда въ Вильямсбургѣ (въ Шотландіи); помощью этого прибора напр. въ Омагѣ (въ Ирландіи) была очищена труба діаметромъ въ 6 дюймовъ длиной около 3 версты 400 саж. (Engineering, 1888, № 1163), причемъ количество воды даваемое трубой увеличилось съ 0,56 ведра въ секунду до 2,01 в., т. е. въ 3,6 раза. Способъ очистки трубъ отъ мягкой осадковъ помощью цѣпокъ, прихвѣннйкъ съ Карьеруэ, описанъ въ статьѣ *Merz*: „Die Reinigung von Wasserleitungsöhren“. Deutsche Bauzeitung. 1883. №№ 46, 48. Здѣсь въ теченіи 78 дней было очищено около 20 верстъ 348 сажень трубъ, діаметромъ отъ 3½ дюймовъ до 18 дюймовъ съ затратою 2.800 марокъ.

мѣрами, слѣдуетъ при расчетѣ трубъ принимать во вниманіе *вліяніе осадковъ* только на *увеличеніе шероховатости*, но не на уменьшеніе поперечнаго сѣченія трубы. На этомъ основаніи мы зададимся цѣлью опредѣлять различныя степени шероховатости, наиболѣе часто встрѣчающіяся въ практикѣ, для чего будемъ пользоваться вышеприведенной форм. (150).

Если примѣнять эту формулу къ опытамъ надъ трубами съ различною шероховатостью, а равно къ опытамъ *Дарси - Базена* надъ каналами полукруглаго поперечнаго сѣченія съ поверхностью покрытой чистымъ цементомъ, а также цементнымъ растворомъ (изъ 1 ч. цемента и 3 ч. песку) \*), то оказывается, что наименьшая шероховатость соотвѣтствуетъ поверхности покрытой чистымъ цементомъ, именно для этого случая получается коэф.  $k = 0,82$ ; для стекляныхъ трубокъ малаго діаметра  $k = 0,83 - 0,84$ ; для новыхъ чугуныхъ трубъ *малого* діаметра (около 1,1 дюйма или 0,09 ф.) асфальтированныхъ и неасфальтированныхъ коэф.  $k = 0,85$ ; поверхности покрытой вышеобозначеннымъ цементнымъ растворомъ соотвѣтствуетъ  $k = 1 - 1,02$ ; для новыхъ асфальтированныхъ трубъ *большого* діаметра (отъ 1 до 4 ф.) получается  $k$  при чугуныхъ трубахъ нѣсколько меньше, чѣмъ при желѣзныхъ; именно для первыхъ  $k = 0,96$  и для вторыхъ  $k = 1,04$ , вѣроятно вслѣдствіе того, что заклепочныя головки, выступающія на внутренней поверхности желѣзной трубы, представляютъ нѣкоторое сопротивленіе водѣ. Что касается трубъ бывшихъ въ употребленіи, то здѣсь, какъ можно было ожидать, оказывается большое разнообразіе въ величинахъ коэф.  $k$ , въ зависимости отъ первоначальнаго вида внутренней поверхности трубы, отъ продолжительности службы трубы, отъ качества воды и т. п. Такъ напр. чугуная асфальтированная труба, бывшая въ дѣлѣ 3 года (опыты надъ этой трубой были произведены Стирсомъ, см. стр. 251) не подверглась никакому измѣненію отъ воды, тогда какъ желѣзныя асфальтированныя трубы, испытанныя Смитзомъ въ Норвѣ-Блумфельдѣ, служившія 5 лѣтъ, подверглась замѣтному измѣненію и для нихъ получается  $k = 1,24$ . Дѣйствіе воды отражается сильнѣе на неасфальтированныхъ трубахъ; такъ для одной чугуной трубы Эдн-

\*) *Darcy-Bazin. Recherches hydrauliques. Paris. 1865, p. 99, Sériés №№ 24, 25.*

бургскаго водопровода (Colinton) служившей 8—9 лѣтъ, діаметромъ 1,333 ф., находимъ  $k = 1,75$ , а для другой (Stawley) служившей 30 лѣтъ діаметромъ 1,25 ф.  $k = 2,40$  \*).

Для расчетовъ особенно важно знать, какого наибольшаго значенія можетъ достигнуть съ теченіемъ времени коэф.  $k$  для трубъ асфальтированныхъ и неасфальтированныхъ. Хотя опытные данныя для трубъ бывшихъ въ службѣ продолжительное время имѣются лишь въ небольшомъ числѣ, особенно для трубъ асфальтированныхъ, а потому затруднительно указать для  $k$  значенія достаточно точныя; но если на основаніи только что сказаннаго оставить въ сторонѣ значенія  $k$  для такихъ случаевъ, какой напр. представляютъ трубы Гамбургскаго водопровода, то можно принять для примѣненія въ практикѣ коэф.  $k = 1,5$ —для трубъ старыхъ асфальтированныхъ и  $k = 2,5$ —для старыхъ неасфальтированныхъ.

Для расчета старыхъ трубъ служатъ также формулы Дарси (стр. 260), Леви (стр. 265), Франка (стр. 266), Гоклера (стр. 271) и Ганцлье-Куттера (стр. 264). Съ цѣлью лучшаго сравненія этихъ формулъ между собою и съ форм. (150) вычислены по нимъ значенія коэф.  $C$  для 6 асфальтированныхъ и для 5 неасфальтированныхъ трубъ, для которыхъ коэф.  $C$  извѣстены изъ опыта. Въ таблицѣ XLI (стр. 280) приведены результаты этихъ вычисленій; жирно напечатаны числа ближе другихъ подходящія къ опытнымъ даннымъ, именно разниціяся отъ этихъ послѣднихъ не болѣе какъ на 15% для трубъ асфальтированныхъ, и не болѣе какъ на 10% для неасфальтированныхъ.

Изъ таблицы видно, что лучше всего согласуются съ опытными данными: для трубъ неасфальтированныхъ форм. Франка и форм. (150) съ коэф.  $k = 2,5$ , а для трубъ асфальтированныхъ—форм. (150) съ коэф.  $k = 1,5$ . Формулы Дарси, Гоклера и Леви даютъ результаты

---

\*) Въ некоторыхъ случаяхъ дѣйствіе воды можетъ быть особенно неблагоприятнымъ для трубъ, какъ это напр. доказано описанными въ § 48 опытами надъ трубами Гамбургскаго водопровода; такъ для чугунныхъ неасфальтированныхъ трубъ діаметромъ 1 ф. и 1,667 ф., бывшихъ въ дѣлѣ 22—25 лѣтъ, получается  $k = 5$ , т. е. въ два раза болѣе, чѣмъ для трубы Эдинбургскаго водопровода служившей 30 лѣтъ. Объясненіе столь большаго значенія  $k$  должно искать въ заростаніи трубъ осадками, а потому при опредѣленіи коэффиціентовъ  $k$ , какъ выражающихъ только степень шероховатости поверхностей, опыты подобныя Гамбургскимъ должны быть исключены изъ разсмотрѣнія.

почти тождественные для диаметровъ трубъ чаще всего употребляемыхъ въ практикѣ, что и слѣдовало ожидать, такъ какъ основаніемъ для

**Таблица ХІ**

значеній коэф. *C* для старыхъ асфальтированныхъ и неасфальтированныхъ трубъ по опыту и по формуламъ (мѣры въ футахъ).

№ №	Диаметръ.	Скоростъ.	величина коэф. <i>C</i> .						форм. (150).			Примѣчанія.
			Поопыту.	Дарси.	Мени.	Гоклеръ.	Франкъ.	Галлганъ Куттеръ.	$n=0,013$	$k=1,5$	$k=2$	
1	0,668	1,69	95,8	75,8	73,4	74,6	82,1	55,5	90,6	83,9	Чугунная труба Штутгартскаго водопровода, въ службѣ 4 года, безъ инкрустаций.	
2	0,88	2,68	95,1	76,7	75,5	76,6	85,5	82,3	96,9	88,1		
3	0,911	4,71	107,1	77,0	76,4	78,2	87,0	84,6	101,6	90,6		
4	1,056	4,60	109,4	77,4	78,0	78,6	89,4	87,9	103,1	92,2		Железная скелетная труба цементная Смитъ-сона въ Норвѣ-Ваун-фельдѣ, въ службѣ 5 лѣтъ (стр. 245).
5	1,23	4,38	111,6	77,8	78,6	78,7	91,7	91,2	104,2	93,3		Тоже.
6	4,0	3,46	112,4	79,6	<b>96,0</b>	66,2	109,9	116,4	116,5	106,5		Чугунная труба Эдинбургскаго водопровода. (Loch Katrine).
7	0,12	2,08	59,4	<b>61,7</b>	<b>62,3</b>	61,8	58,0	38,8	63,9	58,9	$n=0,014$ $k=2,5$ $k=3$ Чугунная труба съ осадками, цементная Дарси (стр. 259).	
8	0,26	2	68,0	<b>70,0</b>	<b>66,4</b>	68,7	68,3	51,0	70,3	64,9	Тоже.	
9	0,80	2	75,0	<b>76,5</b>	<b>75,1</b>	75,8	85,0	73,8	80,6	74,7	Тоже.	
10	1,25	3,46	86,9	77,9	<b>79,8</b>	77,9	91,9	83,4	85,7	78,9	Чугунная труба Эдинбургскаго водопровода (Glasgow), въ службѣ 3 лѣтъ, съ сильными осадками.	
11	1,333	5,25	96,4	78,1	80,5	79,3	97,2	84,0	86,6	79,6	Чугунная труба того же водопровода (Colinton), въ службѣ 8—9 лѣтъ.	

вывода изъ послужили одни и тѣ же опыты Дарси. Потеря напора  $i'$  для старыхъ трубъ сравнительно съ потерей  $i$  для новыхъ получается

по форм. Дарси въ 2 раза болѣе, а по форм. Гоклера въ  $\frac{i'}{i} = \left(\frac{C}{C'}\right)^2 =$   
 $= \frac{\alpha^4}{\alpha_1^4} = \left(\frac{6,625}{5,5}\right)^4 = 2,1$  разъ болѣе для трубъ неасфальтированныхъ  
 и въ  $\left(\frac{7}{5,5}\right)^4 = 2,6$  разъ болѣе для асфальтированныхъ; такимъ об-

разомъ изъ формулы Дарси и Гоклера слѣдуетъ, что шероховатость вліяетъ въ одинаковой степени на движеніе въ трубахъ какъ большихъ, такъ и малыхъ діаметровъ, что врядъ-ли справедливо, такъ какъ опыты Дарси показали, что вліяніе шероховатости отражается гораздо сильнѣе при малыхъ діаметрахъ, чѣмъ при большихъ (см. табл. на стр. 259). На это послѣднее обстоятельство обращено вниманіе въ остальныхъ формулахъ; такъ формула Леви даетъ для діаметровъ меньшихъ 13 дюйм. потерю напора *болѣе* чѣмъ въ 2 раза сравнительно съ новыми трубами, а для діаметровъ большихъ 13 дюйм. потерю напора *менѣе* чѣмъ въ 2 раза; по формулѣ Франка получаются еще болѣе благоприятные результаты, такъ какъ только при діаметрахъ меньшихъ 2 дюйм. потеря напора превосходить болѣе чѣмъ въ 2 раза потерю для новыхъ трубъ.

Такъ какъ коэф.  $C$  во всѣхъ 4 упомянутыхъ формулахъ не зависитъ отъ  $V$ , то въ нихъ вліяніе шероховатости оказывается одинаковымъ при всякихъ скоростяхъ. Между тѣмъ опыты Смитза въ Нью-Альмеденѣ показываютъ, что это вліяніе при большихъ скоростяхъ сильнѣе чѣмъ при малыхъ; такъ, если взять для сравненія напр. опыты I и V серіи (стр. 233 и 250) съ трубами діаметровъ почти одинаковыхъ, но разной шероховатости (въ I серіи труба желѣзная сварочная, никакимъ составомъ внутри не покрытая, *новая*, съ коэф.  $k=0,85$ , и въ V серіи труба также желѣзная сварочная и никакимъ составомъ внутри непокрытая, но бывшая въ употребленіи 2 года и имѣвшая внутри тонкій слой твердаго осадка, съ коэф.  $k'=1,35$ ), то при скоростяхъ 2 и 4 фута получаются  $C=90$  и 98 для I серіи и  $C'=76,5$  и 80 для V серіи; такъ что увеличеніе скорости вдвое увеличиваетъ  $C$  на 8,9% въ первомъ случаѣ и на 4,6% во второмъ. Вслѣдствіе этого отношеніе потерь напоровъ  $i'$  и  $i$  для старыхъ и новыхъ трубъ при одномъ и томъ же діаметрѣ увеличивается съ увеличеніемъ скорости; такъ:

$$\text{при } V = 2 \text{ ф.} \quad \frac{z'}{z} = \left( \frac{90}{76,5} \right)^2 = 1,38$$

$$\text{при } V = 4 \text{ ф.} \quad \frac{z'}{z} = \left( \frac{98}{80} \right)^2 = 1,50$$

Если теперь обратиться къ форм. (150), то для 2 трубъ одинаковаго діаметра, но разныхъ степеней шероховатости  $k$  и  $k'$  получается изъ нея, что при какомъ либо значеніи  $V$  отношеніе потерь напоровъ  $z$  и  $z'$  равно:

$$\frac{z'}{z} = \left( \frac{C}{C'} \right)^2 = \frac{k'}{k} \left[ \frac{V + 0,35 (k' - 3)^2 \sqrt[4]{R}}{V + 0,35 (k - 3)^2 \sqrt[4]{R}} \right]^2.$$

Это выраженіе показываетъ, что отношеніе потери напора  $z'$  въ старыхъ трубахъ къ потери напора  $z$  въ новыхъ уменьшается съ увеличеніемъ діаметра и увеличивается съ увеличеніемъ скорости, слѣдовательно формула (150) въ этомъ отношеніи болѣе согласована съ опытными данными, чѣмъ выше разсмотрѣнныя.

По форм. Гангилье-Куттера получается, что отношеніе  $\frac{z'}{z}$  измѣняется съ  $D$  и  $V$  въ томъ же смыслѣ, что и по форм. (150); къ сожалѣнію результаты получаемые по этой формулѣ не достаточно хорошо согласуются съ опытами, какъ видно изъ табл. ХLI, а потому форм. Гангилье-Куттера въ ея настоящемъ видѣ врядъ-ли применима къ расчету трубъ съ различною степенью шероховатости.

Что касается значеній коэф.  $k$  для другихъ матеріаловъ употребляемыхъ на трубы, то для *деревянныхъ* трубъ *малаго* діаметра, приготовляемыхъ сверленіемъ, на основаніи опытовъ Смитза (стр. 250) можно принимать  $k = 2$ . Для подведенія воды изъ прудовъ, рѣкъ и т. п. къ гидравлическимъ движителямъ (водянымъ колесамъ и турбинамъ) часто употребляются деревянные трубы діаметромъ отъ 2 до 6 футъ и болѣе, составляемая, подобно бочкамъ, изъ досокъ шириною не болѣе 9 — 10 дюймовъ и толщиною 2 — 3 дюйма; такія трубы при скрѣпленіи ихъ желѣзными обручами могутъ выдерживать давленіе до 4 атмосферъ. Надъ движеніемъ воды въ деревянныхъ трубахъ подобнаго устройства не было произведено опытовъ, но можно принимать для нихъ  $k = 1,4 — 1,5$ , т. е. тотъ самый, который получается изъ опытовъ *Дарси-Базена* надъ движеніемъ воды въ ка-

налахъ и трубахъ прямоугольнаго и полукруглаго сѣченія, составлен-ныхъ изъ невмѣструганныхъ досокъ \*).

Для *кирпичныхъ* каналовъ коэф.  $k$  имѣеть различныя значенія смотря по степени гладкости кирпичной кладки. На основаніи опытовъ *Фтилли* и *Стирнса* надъ каменной трубой Бостонскаго водопровода (стр. 144) \*), можно принимать для очень гладкой кирпичной кладки  $k = 0,9$ ; для не вполне гладкой кирпичной кладки, какъ можно заключить изъ опытовъ *Дарси-Базена* \*\*), коэф.  $k = 1,6$ .

Для новыхъ *гончарныхъ* глазурированныхъ трубъ можно принимать приблизительно  $k = 0,9$ .

Полученныя нами значенія коэф.  $k$  для трубъ съ различною шероховатостью сведены въ нижеслѣдующей таблицѣ, въ которой показаны также значенія коэф.  $n$  формулы Гангилье-Куттера.

Таблица XLII

коэффициентовъ шероховатости  $k$  и  $n$  въ формулѣ (150) и Гангилье-Куттера для поверхностей съ различною шероховатостью.

Поверхность.	$k$	$n$	Поверхность.	$k$	$n$
Поверхность покрытая чистымъ цементомъ . . .	0,82	0,010	Поверхность покрытая цементнымъ растворомъ 1:3 . . . . .	1—1,02	0,011
Стеклоянная трубка малаго діаметра. . . . .	0,83—0,84	—	Новыя желѣзныя трубы асфальтированныя, склеяныя . . . . .	1,04	0,011
Новыя чугунныя трубки малаго діаметра асфальтир. и неасфальтир. . . . .	0,85	—	Деревяныя трубы составленныя изъ досокъ, на подобіе бочки. . . . .	1,4—1,5	0,012—0,013
Новыя гончарныя трубы глазурированныя . . . . .	0,90	0,010	Кирпичная кладка не очень гладкая. . . . .	1,6	0,013
Кирпичная кладка очень гладкая. . . . .	0,90	—	Старыя асфальтированныя чугунныя и желѣзныя трубы . . . . .	1,5	0,013
Новыя чугунныя трубы асфальтированныя. . . . .	0,96	0,011	Деревяныя трубы сѣрпеныя . . . . .	2	—
			Старыя неасфальтированныя чугунныя и желѣзныя трубы. . . . .	2,5	0,014

\*) *Darcy-Bazin*: Recherches hydrauliques, p. 78, séries N<sup>os</sup> 6, 7, 8; p. 168, 170, séries N<sup>os</sup> 51, 52; p. 100 série N<sup>o</sup> 26.

\*) *Smith*. Hydraulics, p. 183.

\*\*) *Darcy-Bazin*. Recherches hydrauliques, p. 76, série N<sup>o</sup> 3

§ 50. *Мьстныя сопротивленія въ трубахъ: уширенія, суженія, діафрагмы, колѣна, закругленія, краны, клапаны и т. д. \*)*

Въ предыдущихъ §§ разсматривались *общія* гидравлическія сопротивленія, т. е. проявляющіяся по всей длинѣ трубы. Кромѣ этихъ сопротивленій могутъ быть еще *мьстныя*, проиходящія отъ существованія въ трубѣ уширеній, суженій, діафрагмъ, колѣнъ, закругленій, крановъ, клапановъ и т. п. Во всѣхъ этихъ случаяхъ является *взмѣненіе* направленія движенія, или быстрое *взмѣненіе* поперечнаго сѣченія трубы, или то и другое совмѣстно.

1) Если  $\Omega'$  и  $\Omega$  — поперечныя сѣченія струи сжатой и расширенной, а  $V'$  и  $V$  — скорости въ нихъ, то высота гидравлическихъ сопротивленій, вызываемыхъ быстрымъ *взмѣненіемъ* поперечнаго сѣченія, равна:

$$h'' - h''_0 = \frac{(V' - V)^2}{2g} = \left( \frac{\Omega}{\Omega'} - 1 \right)^2 \frac{V^2}{2g} = \zeta \frac{V^2}{2g}.$$

Изъ этого выраженія для случая уширенія трубы (черт. 152) найдемъ  $\zeta = \left( \frac{\Omega}{\omega} - 1 \right)^2$ , для суженія трубы (черт. 153)  $\zeta = \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2$ , а для діафрагмы (черт. 154)  $\zeta = \left( \frac{\Omega}{\alpha \omega} - 1 \right)^2$ . Для случая діафрагмы *Вейсбаха* найдемъ слѣдующія значенія коэф.  $\alpha$  въ зависимости отъ отношенія  $n$  площади отверстія въ діафрагмѣ къ площади сѣченія трубы:

$n =$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$\alpha =$	1	0,892	0,813	0,755	0,712	0,681	0,659	0,643	0,632	0,624
$\zeta =$	0	0,06	0,29	0,80	1,80	3,75	7,80	17,5	47,8	226

\*) Этотъ § составленъ главнымъ образомъ по сочиненію: *Grashof*, Theoretische Maschinenlehre. Erster Band. 1875, §§ 91, 92. Опытъ *Вейсбаха* здѣсь упоминаемые описаны преимущественно въ сочиненіи: *Weisbach*, Untersuchungen in dem Gebiete der Mechanik u. Hydraulik. Erste Abth. 1842. См. также: *Weisbach*, Die Experimental-Hydraulik. 1855. §§ 29—35.

Въ другихъ случаяхъ на величину гидравлическихъ сопротивленій влияют кромѣ того — измѣненіе направленія движенія, раздѣленіе струи, обдѣлка отверстій, черезъ которыя проходитъ струя, и т. п. обстоятельства. Всѣ эти влиянія не могутъ быть опредѣлены теоретически и подлежатъ изслѣдованію путемъ опыта.

Въ дальнѣйшемъ изложеніи будутъ приводиться значенія только коэф.  $\zeta$ ; для нахождения же высоты гидравлическихъ сопротивленій ( $h'' - h_0''$ ) необходимо этотъ коэффициентъ умножить на высоту соотвѣтственной скорости.

2) Для случая *кольна Вейсбахъ* на основаніи собственныхъ опытовъ надъ трубами въ 0,03 метра діаметромъ даетъ для коэф.  $\zeta$  въ предыдущей формулѣ слѣдующее выраженіе:

$$\zeta = a \sin^2 \frac{1}{2}\beta + b \sin^4 \frac{1}{2}\beta \dots (151)$$

гдѣ  $\beta$  — уголъ, на который измѣняется направленіе продольной оси трубы (черт. 155),  $a = 0,9457$  и  $b = 2,047$ ; напр.

при $\beta = 20^\circ$	$40^\circ$	$60^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$
$\zeta = 0,046$	0,139	0,364	0,740	0,984

Для трубъ *большаго* діаметра  $\zeta$  значительно меньше. Въ двойномъ *кольнѣ* (черт. 156 и 157) при довольно короткой части  $ab$  получается  $\zeta$  тоже, что и для одного *кольна* — если направленіе движенія измѣняется на прямопротивоположное (черт. 156), но оно въ 2 раза больше, если направленіе движенія остается безъ перемѣны (черт. 157), и въ 1,5 раза болѣе, если звено  $bf$  перпендикулярно къ  $ac$ .

3) Опредѣленіемъ гидравлическихъ сопротивленій въ *закрученіяхъ* занимался *Дюбуа* и *Вейсбахъ*. По *Дюбуа* коэф.  $\zeta$  въ этомъ случаѣ зависитъ отъ такъ называемаго угла отклоненія  $\varphi$  струи и числа  $n$  таковыхъ отклоненій. Если напр. ось трубы расположена по какой либо кривой  $AB$  (черт. 158), то для нахождения  $\varphi$  и  $n$  нужно поступить слѣдующимъ образомъ. Прямою ось продолжатъ до пересѣченія въ  $a$  со стѣнкою трубы, изъ  $a$  проводятъ касательную къ оси до пересѣченія въ  $b$  со стѣнкою трубы и т. д. пока послѣдняя касательная не совпадетъ (приблизительно) съ прямою частью трубы. Углы  $dab$ ,

$ebs$  и т. д. суть углы отклонения,  $n$  очевидно равно числу точек  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ... Тогда по Дюбюа:

$$\zeta = a \sum \sin^2 \frac{\varphi}{2} \dots \dots \dots (151a)$$

гдѣ суммирование слѣдуетъ распространить на всѣ  $n$  угловъ отклонения. Если кривая — дуга круга радиуса  $\rho$  и имѣеть уголъ при центрѣ  $= \beta$ , то обозначая через  $r$  — радиусъ сѣченія трубы, найдемъ:

$$n = \frac{\beta}{\varphi}; \cos^{1/2} \varphi = \frac{\rho}{\rho + r}; \zeta = a \frac{\beta}{\varphi} \sin^{2 \cdot 1/2} \varphi \dots (151b)$$

здѣсь коэф.  $a = 0,2413$ ; по *Грасхофу* при  $\frac{r}{\rho} \cong 0,2$  лучше брать  $a = 0,337$ ; тогда, напр. для закругленія въ  $90^\circ$  получимъ:

при $\frac{r}{\rho} =$	0,05	0,1	0,15	0,2
$\zeta =$	0,057	0,076	0,089	0,099

При  $\frac{r}{\rho}$  довольно маломъ, напр. меньшихъ 0,05, можно вычислять  $\zeta$  по слѣдующей формулѣ выведенной изъ (151 b):

$$\zeta = 0,00416 \beta \left(1 - \frac{r}{\rho}\right) \sqrt{\frac{r}{\rho}} \dots \dots (151c)$$

гдѣ  $\beta$  выражено въ градусахъ.

Для закругленія въ  $90^\circ$  *Вейсбахъ* на основаніи опытовъ своихъ и Дюбюа даетъ такое выраженіе для  $\zeta$ :

$$\zeta = a + b \left(\frac{r}{\rho}\right)^{1/2} \dots \dots \dots (151d)$$

гдѣ для трубъ круглаго сѣченія  $a = 0,131$  и  $b = 1,847$ , а для трубъ прямоугольнаго сѣченія, въ которомъ стороны параллельныя плоскости закругленія равны  $2r$ :  $a = 0,124$  и  $b = 3,104$ .

Выраженіемъ (151d) лучше всего пользоваться при  $\frac{r}{\rho} \cong 0,2$ , тогда напр. для круглыхъ сѣченій получимъ:

при $\frac{r}{\rho} =$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$\zeta =$	0,138	0,158	0,206	0,294	0,440

Въ обыкновенныхъ случаяхъ практики скорость, а слѣдов. и высота ей соответствующая—не велика (напр. при  $V=2, 3, 4$  фут. высота = 0,062; 0,140; 0,248 фут.), такъ что, какъ можно видѣть изъ приведенныхъ примѣровъ высоты, гидравлическихъ закругленій въ колѣнахъ и закругленійхъ получаются незначительными. Но при большомъ числѣ такихъ мѣсть на водопроводной линіи общая сумма подобныхъ сопротивленій можетъ сдѣлаться замѣтной и вліять на движеніе; поэтому вообще слѣдуетъ по возможности уменьшать число закругленій и колѣнъ. Если закругленіе или колѣно расположено въ вертикальной плоскости и обращено выпуклостью вверхъ, то въ немъ можетъ скопиться воздухъ выдѣляющійся изъ воды; это скопленіе, уменьшая поперечное сѣченіе трубы, уменьшаетъ также расходъ и въ крайнемъ случаѣ можетъ даже совсѣмъ пріостановить теченіе; въ виду этого въ такихъ мѣстахъ необходимо располагать *вантузы*, т. е. приборы автоматически выпускающія воздухъ изъ трубы по мѣрѣ накопленія его.

4) При устройствѣ водопроводовъ на трубахъ устанавливаются всегда *задвижки*, или *створные краны*, посредствомъ которыхъ всегда можно выдѣлить любую линію изъ водопроводной сѣти и исправить ее, не прерывая водоснабженія въ остальныхъ мѣстахъ. Для случая подобныхъ задвижекъ были произведены *Вейсбаомъ* и *Граскофомъ* опыты надъ круглой трубой діаметра 0,04 м. и надъ трубой прямоугольнаго сѣченія 0,05 м.  $\times$  0,025 м. Если  $\Omega$ —полное сѣченіе трубы,  $\omega$ —сѣченіе ея при нѣсколько поднятой задвижкѣ, и  $x$ —часть діаметра трубы занятая задвижкой (чер. 159), то изъ вышеупомянутыхъ опытовъ получаются слѣдующія значенія для коэф.  $\zeta$ :

*круглое сѣченіе.*

$\frac{x}{D} =$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{\omega}{\Omega} =$	0,948	0,856	0,740	0,609	0,466	0,315	0,159
$\zeta =$	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

*прямоугольное сѣченіе.*

$\frac{\omega}{\Omega} =$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$\zeta =$	0,09	0,039	0,95	2,08	4,02	8,12	17,8	44,5	193

5) Въ случаѣ *крана* устройства показаннаго на чер. 160 направление струи измѣняется 2 раза, также 2 раза происходитъ сжатіе и расширеніе струи, именно въ сѣченіяхъ *ab*, *cd* и *ef*, *gh*. Гидравлическія сопротивленія для этого случая были изслѣдованы *Вейсбахомъ* для круглой и прямоугольной трубы вышеприведенныхъ размѣровъ. Диаметръ крана *d* опредѣляется величиною угла  $\delta_1$ , на который нужно повернуть кранъ для полного закрытія трубы; очевидно  $\text{Sin } \frac{1}{2} \delta_1 = \frac{D}{d}$ ; въ опытѣ *Вейсбаха* было  $\delta_1 = 82^\circ$  для круглой трубы и  $\delta_1 = 67^\circ$  для прямоугольной. Величина большаго или меньшаго закрытія крана опредѣляется угломъ  $\delta$ . Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены значенія  $\zeta$  и  $\zeta'$  для той и другой трубы; въ ней

$\delta$	$\zeta_0$	$\zeta$	$\zeta'$	$\delta$	$\zeta_0$	$\zeta$	$\zeta'$
5°	0,02	0,06	0,05	40°	8,72	17,3	20,7
10°	0,25	0,29	0,31	45°	15,4	31,2	41,0
15°	0,38	0,75	0,58	50°	27,9	52,6	95,3
20°	0,65	1,58	1,84	55°	53,9	106	275
25°	1,62	3,10	3,46	60°	113	206	—
30°	2,89	5,47	6,16	65°	276	486	—
35°	5,05	9,68	11,2				

также помѣщены значенія  $\zeta_0$ , соответствующія сопротивленіямъ происходящимъ только отъ сжатія и расширенія струи; коэф. сжатія  $\alpha$ , необходимые для вычисленія  $\zeta_0$ , бралъсь изъ опытовъ *Вейсбаха* (стр. 284).

Коэф.  $\zeta$  можно разсматривать состоящимъ изъ 2 частей: одной равной  $\zeta_0$  происходящей отъ сжатія и расширенія струи и зависящей, слѣдов., отъ отношенія  $\frac{\delta}{\delta_1}$ , и другой части равной  $\zeta - \zeta_0$ , обусловленной величиной измѣненія направленія струи, т. е. угломъ  $\delta$ . На этомъ основаніи помощью этой таблицы можно опредѣлить  $\zeta$  для крана съ другимъ значеніемъ угла  $\delta_1$ . Пусть напр. требуется вычислить  $\zeta$  для  $\delta = 20^\circ$  при  $\delta_1 = 70^\circ$ . Часть  $\zeta - \zeta_0 = 0,71$  прямо находимъ по таблицѣ, такъ какъ она не зависитъ отъ  $\delta_1$ ; другая часть

$\zeta_0$  очевидно больше табличного числа 0,85, потому что отношение  $\frac{\delta}{\delta_1}$  для нашего примѣра больше; если при  $\frac{\delta}{\delta_1} = \frac{20}{82}$  коэф.  $\zeta_0$  соотвѣтствуетъ углу  $50^\circ$ , то при  $\frac{\delta}{\delta_1} = \frac{20}{70}$  коэф.  $\zeta_0$  соотвѣтствуетъ углу  $20^\circ$ .  $\frac{82}{70} = 23^\circ,43$ ; для такого угла  $\zeta_0 = 1,38$ ; слѣдов.  $\zeta = 1,38 + 0,71 = 2,09$ .

Часто на трубахъ малаго діаметра ставятъ краны позволяющіе измѣнить направленіе движенія на  $90^\circ$  (чер. 161). Также и здѣсь сопротивленія составляются изъ 2 частей: одной  $\zeta_0$  зависящей отъ измѣненія направленія и второй  $\zeta$ —отъ уменьшенія сѣченія и вызванныхъ вслѣдствіе того сжатія и расширенія струи. Въ нижепомѣщенной таблицѣ, составленной *Вейсбахомъ*, приведены значенія  $\zeta$  второй части сопротивленій—при различныхъ положеніяхъ крана, опредѣляемыхъ угломъ  $\delta$ , а также показаны соотвѣтственные отношенія сѣченій—трубы  $\Omega$  и отверстія въ кранѣ  $\omega$ .

$\delta = 0^\circ$	$2\frac{1}{2}^\circ$	$5^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$
$\frac{\omega}{\Omega} = 1,0$	0,964	0,926	0,850	0,692	0,535	0,385	0,250	0,137	0,052
$\zeta = 0$	0,01	0,038	0,191	0,989	2,944	9,516	28,816	100,53	624,81

Полное сопротивленіе при проходѣ черезъ кранъ подобнаго устройства найдемъ, прибавляя къ  $\zeta$  значеніе  $\zeta_0$  вычисляемое по форм. 151  $b, c, d$ .

6) Если въ трубѣ помѣщена *вращающаяся задвижка* (чер. 162), то въ этомъ случаѣ струя раздѣляется, сжимается въ  $ab$  и  $cd$  и расширяется въ  $ef$  и  $gh$ . Слѣдующая таблица даетъ значенія коэф.  $\zeta$  и  $\zeta'$  для

$\delta$	$\zeta$	$\zeta'$	$\delta$	$\zeta$	$\zeta'$	$\delta$	$\zeta$	$\zeta'$
$5^\circ$	0,24	0,28	$30^\circ$	3,91	3,54	$55^\circ$	58,8	42,7
$10^\circ$	0,52	0,45	$35^\circ$	6,22	5,70	$60^\circ$	118	77,4
$15^\circ$	0,90	0,77	$40^\circ$	10,8	9,27	$65^\circ$	256	158
$20^\circ$	1,54	1,34	$45^\circ$	18,7	15,1	$70^\circ$	751	368
$25^\circ$	2,61	2,16	$50^\circ$	32,6	24,9	$90^\circ$	$\infty$	$\infty$

трубъ круглаго и прямоугольнаго сѣченія при различныхъ положеніяхъ задвижки, опредѣляемыхъ угломъ  $\delta$ .

7) При устройствѣ водопроводовъ нерѣдко употребляются *клапаны* различнаго устройства (чер. 163 и 164); они устанавливаются напр. на трубахъ, посредствомъ которыхъ вода забирается насосами изъ колодцевъ, также на трубахъ, по которымъ вода нагнетается насосами въ вышерасположенный резервуаръ, и въ другихъ подобныхъ случаяхъ, гдѣ вообще требуется воспрепятствовать обратному току воды. Если клапанъ имѣетъ устройство показанное на чер. 163, то вода на своемъ пути отъ  $\omega$  къ  $\Omega$  проходить *три* уменьшенныхъ сѣченій: круглое  $ab = \Omega_1$ , цилиндрическое  $ac$ ,  $bd$ —равное  $\Omega_2$ , и кольцевое  $fc$ ,  $de$ —равное  $\Omega_3$ ; при этомъ струя раздѣляется и претерпѣваетъ значительное измѣненіе въ своемъ направленіи. Величина сѣченія  $\Omega_2$  зависитъ отъ высоты  $h$  поднятія клапана; по опытамъ *Вейсбаха* на величину гидравлическихъ сопротивленій существенно не вліяетъ отношеніе  $\Omega_2$  къ  $\Omega_1$ , если  $h \cong r$  — радиуса сѣченія  $ab$ , т. е. если  $\Omega_2 \cong 2\Omega_1$ . При  $h \cong r$  можно считать гидравлическія сопротивленія зависящими главнымъ образомъ отъ отношеній  $\Omega_1$  и  $\Omega_3$  къ  $\Omega$ ; обозначая наименьшее изъ  $\Omega_1$  и  $\Omega_3$  черезъ  $\Omega'$ , можемъ представить  $\zeta$  подъ такимъ видомъ:

$$\zeta = \left( \frac{\Omega}{\alpha\Omega'} - 1 \right)^2 \dots \dots \dots (151e)$$

гдѣ  $\alpha$ —коэф. зависящій отъ сжатія струи, отъ обдѣлки отверстія  $ab$  и т. п. и подлежащій опредѣленію путемъ опыта. *Грасхофъ* на основаніи опыта *Вейсбаха* принимаетъ  $\frac{1}{\alpha} = 1,537$ .

*Вейсбахъ* изслѣдовалъ также сопротивленіе въ клапанахъ устройства, показаннаго на черт. 164, при различныхъ углахъ  $\delta$  поднятія клапана. Здѣсь струя претерпѣваетъ измѣненіе въ направленіи движенія, сжатіе въ  $ab$  и расширеніе въ  $cd$ . По *Грасхофу* для этого случая коэф.  $\zeta$  равенъ:

$$\zeta = \left( x \frac{\Omega}{\omega} - 1 \right)^2 \dots \dots \dots (151f)$$

гдѣ  $x$  зависитъ отъ угла  $\delta$ ; въ нижеслѣдующей таблицѣ показаны значенія  $x$  при различныхъ  $\delta$ .

$\delta$	$x$	$\delta$	$x$	$\delta$	$x$	$\delta$	$x$
15°	5,81	30°	3,47	45°	2,18	60°	1,49
20°	4,73	35°	2,93	50°	1,91	65°	1,35
25°	4,00	40°	2,54	55°	1,68	70°	1,23

Въ послѣднее время *Бахомъ* \*) были произведены опыты по опредѣленію гидравлическихъ сопротивленій въ подъемныхъ клапанахъ различнаго устройства (чер. 165а—г), а именно слѣдующихъ типовъ: 1) съ плоскимъ гнѣздомъ и съ плоской лицевой стороной (*a* и *b*); 2) съ плоскимъ гнѣздомъ и съ сферической вогнутой стороной (*c*); 3) съ плоскимъ гнѣздомъ и съ лицевой стороной въ видѣ конуса уширяющагося къ основанію и выступающаго на встрѣчу движенію (*d*); 4) съ плоскимъ гнѣздомъ и съ хвостомъ состоящимъ изъ трехъ направляющихъ вѣтвей (*e* и *f*); 5) съ коническимъ гнѣздомъ и съ плоскою лицевою стороною (*g*); 6) съ коническимъ гнѣздомъ и съ лицевой стороной въ видѣ конуса, выступающаго на встрѣчу движенію (*h*); и 7) съ коническимъ гнѣздомъ и съ шаровой выпуклой лицевой стороной (*i*).

Вода подводилась къ клапану трубой діаметромъ 250 миллм. (чер. 166); діаметръ *d* отверстія закрываемаго клапаномъ равнялся 50 миллм.; діаметръ трубы *D*, внутри которой располагался клапанъ,—90 миллм., и діаметръ клапана  $d_1=60$  миллм.; такъ что площадь отверстія закрываемаго клапаномъ и площадь кольцевого сѣченія, по которому вода проходила при поднятомъ клапанѣ, относилась какъ 1 : 1,8; въ клапанѣ представленномъ на чер. 165*b* сохранено тоже отношеніе площадей, хотя въ этомъ случаѣ  $D=100$  миллм. а  $d_1=74$  миллм.

Для направленія движенія клапановъ служилъ цилиндрической стержень, скользящій во втулкѣ, какъ это видно изъ чер. 166; для клапановъ же показанныхъ на чер. 165*e, f* направляющими служили хвосты, состоявшіе изъ 3 вѣтвей каждый.

Представля гидравлическія сопротивленія въ клапанахъ форму-

\*) *C. Bach. Versuche über Ventilbelastung und Ventilwiderstand. Berlin. 1884.*

лой  $h'' - h_0'' = \zeta \frac{V^2}{2g}$ , гдѣ  $V$  — скорость въ отверстіи закрываемомъ клапаномъ, Бахъ на основаніи своихъ опытовъ даетъ для  $\zeta$  выраженіе тroyакого вида:

для клапановъ съ плоскимъ гнѣздомъ, безъ хвоста (чер. 165 *a, b, c, d*) и для клапановъ съ коническимъ гнѣздомъ и съ конической лицевой стороною (чер. 165*h*):

$$\zeta = \alpha + \beta \left( \frac{d'}{h} \right);$$

для клапановъ съ плоскимъ гнѣздомъ и съ хвостомъ (чер. 165*e, f*):

$$\zeta = \alpha' + \beta' \left( \frac{d'^2}{(\pi d - i s) h} \right)^2;$$

для клапановъ съ коническимъ гнѣздомъ и съ плоской лицевой стороною (чер. 165*g*) и для клапановъ съ коническимъ гнѣздомъ и съ шаровой лицевой стороною (чер. 165*i*):

$$\zeta = \alpha'' + \beta'' \left( \frac{d'}{h} \right) + \gamma \left( \frac{d'}{h} \right)^2.$$

Въ этихъ выраженіяхъ:  $d$ —діаметръ отверстія закрываемого клапаномъ;  $h$ —высота поднятія клапана;  $i$ —число направляющихъ вѣтвей въ клапанахъ съ хвостомъ;  $s$ —ширина направляющей вѣтви, считая эту ширину по окружности отверстія закрываемого клапаномъ;  $b$ —ширина клапаннаго гнѣзда;  $\alpha$   $\beta$   $\alpha'$   $\beta'$ ..... численные коэффициенты равные:

для клапановъ представленныхъ на чер. 165 *a b c d*

$$\alpha = 0,55 + 4 \frac{b - 0,1d}{d}; \quad \beta = 0,15 \text{ до } 0,16; \quad b = (0,1 - 0,25)d$$

для клапана на чер. 165*h* :  $\alpha = 0,6$  и  $\beta = 0,15$ ;

„ „ „ „ 165*e* :  $\alpha' = 1,35$  и  $\beta' = 1,7 - 1,75$ ;

„ „ „ „ 165*f* :  $\alpha' = 2,15$  и  $\beta' = 1,7 - 1,75$ ;

$\alpha'' = 2,6 - 2,7$ ;  $\beta'' = -0,8$ ;  $\gamma = 0,14$ ;  $b = 0,1d$ .

Вышеприведенные численные значенія коэффициентовъ справедливы при высотѣ подъема  $h = (0,1 - 0,25)d$ .

Изъ опытовъ Баха видно, 1) что при плоскомъ гнѣздѣ на величину гидравлическихъ сопротивленій вліяетъ ширина гнѣзда  $b$ , вліяніе же обдѣлки лицевой стороны оказывается незначительнымъ; 2) что сопротивление клапановъ съ хвостомъ значительно больше, чѣмъ клапановъ безъ хвоста; и 3) что изъ клапановъ съ коническимъ гнѣздомъ большее сопротивление соотвѣтствуетъ клапану съ конической лицевой стороной.

### § 51. Простой водопроводъ. Рѣшеніе задачъ относящихся къ простому водопроводу. Сифонъ.

Простымъ водопроводомъ называется труба проводящая воду изъ резервуара на воздухъ или въ другой резервуаръ; труба имѣетъ постоянный діаметръ по всей длинѣ, или же состоитъ изъ отдѣльныхъ частей, каждая постояннаго діаметра; продольная ось трубы—прямолинейна, или представляетъ ломанную линію, или же состоитъ изъ прямолинейныхъ отрѣзковъ соединенныхъ закругленіями.

При разсмотрѣніи простаго водопровода обыкновенно приходится рѣшать *два* задачи. Въ первой изъ нихъ отыскивается одна изъ величинъ: діаметръ трубы, напоръ и расходъ (или, что одно и то же, скорость). Во второй—опредѣляется гидравлическое давленіе въ какой либо точкѣ водопровода. Обѣ задачи рѣшаются примѣненіемъ теоремы Д. Бернулли къ движенію частицы, находящейся первоначально на поверхности воды въ резервуарѣ. Обратимся сперва къ первой задачѣ.

1) Положимъ, труба діаметромъ  $D$  (черт. 167) соединяетъ резервуары  $A$  и  $B$ , разность горизонтовъ которыхъ равна  $H$  (напоръ), причемъ въ концѣ трубы помѣщена діафрагма съ отверстіемъ  $O$ . Разсмотримъ линію тока  $M_0 M' M_1$  совпадающую съ продольной осью трубы. Гидравлическія сопротивленія для этой линіи суть: а) *местныя*—при входѣ въ трубу между сѣченіями  $ab$  и  $cd$  и при выходѣ изъ трубы на нѣкоторомъ протяженіи  $M'' P$ , и б) *общія*—при движеніи по трубѣ на длинѣ между сѣченіями  $cd$  и  $gh$ .

Если  $V$ —скорость движенія по трубѣ,  $\alpha O$ —сжатое сѣченіе струи по выходѣ ея изъ діафрагмы ( $\alpha$ —коэф. сжатія струи),  $V_2$ —скорость въ этомъ сѣченіи,  $\mu$ —коэф. расхода черезъ короткую цилиндрическую

насадку,  $L$  — длина трубы между сѣченіями  $cd$  и  $gh$ , то вышеуказанныя гидравлическія сопротивленія будутъ равны соответственно:

$$\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \frac{V^2}{2g} \quad (\text{см. стр. 230}); \quad \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g} \quad (\text{на основаніи принципа Борда}); \quad \frac{Q^2 L}{\gamma D^5} \quad (\text{см. стр. 228 ур. 134a}).$$

Въ такомъ случаѣ для линіи тока  $M_0 M_1$  по обобщенной теоремѣ Д. Бернули получимъ:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + \left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \frac{V^2}{2g} + \frac{Q^2 L}{\gamma D^5} + \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g} = H \quad \dots (152)$$

Это выраженіе можно представить еще въ другомъ видѣ, замѣняя скорости расходомъ  $Q$ , дѣленнымъ на соответственное поперечное сѣченіе. Тогда называя черезъ  $\Omega_0$  и  $\Omega_1$  поперечныя сѣченія резервуаровъ и имѣя въ виду, что на основаніи гипотезы параллелизма слоевъ расходы въ этихъ сѣченіяхъ равны  $Q$ , напишемъ:

$$\frac{Q^2}{2g} \left\{ \underbrace{\left(\frac{1}{\Omega_1^2} - \frac{1}{\Omega_0^2}\right)}_{(1)} + \underbrace{\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)}_{(2)} \frac{1}{\omega^2} + \underbrace{\frac{2g L}{\gamma D^5}}_{(3)} + \underbrace{\left(\frac{1}{\alpha O} - \frac{1}{\Omega_1}\right)^2}_{(4)} \right\} = H \quad (152a)$$

Это уравненіе служитъ для опредѣленія одной изъ величинъ:  $H$ ,  $D$ ,  $Q$  или  $V$  по заданнымъ остальнымъ величинамъ. Въ частныхъ случаяхъ оно значительно упрощается. Такъ, при большихъ поперечныхъ сѣченіяхъ резервуаровъ членомъ (1) можно пренебрегать (потому что тогда  $\frac{1}{\Omega_1^2}$  и  $\frac{1}{\Omega_0^2}$  будутъ весьма малы), а членъ (4) будетъ равенъ  $\left(\frac{1}{\alpha O}\right)^2$ ; если кромѣ того діафрагмы нѣтъ, то членъ (4) равняется  $\frac{1}{\omega^2}$ ; тогда уравн. (152a) приметъ такой видъ:

$$\frac{Q^2}{2g \mu^2 \omega^2} + \frac{Q^2 L}{\gamma D^5} = H \quad \dots \dots \dots (152b)$$

Если длина трубы *весьма велика* въ сравненіи съ діаметромъ ея, то первымъ членомъ равнымъ  $\frac{V^2}{2g \mu^2}$  можно пренебречь, въ особен-

ности, если скорость  $V$  небольшая, и тогда получим ур. (152a) въ простѣйшемъ видѣ:

$$\frac{Q^2 L}{\gamma D^5} = H \dots \dots \dots (152c)$$

Оно показываетъ, что потеря напора въ трубѣ равна разности горизонтовъ въ резервуарахъ, или другими словами: напоръ  $H$  расходуется на гидравлическія сопротивленія отъ тренія въ трубѣ; за  $L$  здѣсь слѣдуетъ принимать полную длину трубы.

Когда второго резервуара нѣтъ и вода вытекаетъ на *воздухъ* (черт. 168), то  $H$ —обозначаетъ возвышеніе горизонта въ резервуарѣ  $A$  надъ центромъ тяжести сжатого сѣченія струи, а если діафрагмы нѣтъ, то надъ центромъ тяжести выпускнаго отверстія трубы, и ур. (152a) для этого случая представится въ такомъ видѣ:

$$\frac{Q^2}{2g} \left\{ \underbrace{\left( \frac{1}{\alpha O} \right)^2}_{(1)} - \underbrace{\frac{1}{\Omega_0^2}}_{(2)} + \underbrace{\left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right)}_{(3)} \frac{1}{\omega^2} + \underbrace{\frac{2g L}{\gamma D^5}}_{(4)} \right\} = H \dots (152d)$$

Въ томъ случаѣ, когда поперечное сѣченіе резервуара весьма значительно, членомъ (2) можно пренебречь; если же при этомъ діафрагмы нѣтъ, то членъ (1) обращается въ  $\frac{1}{\omega^2}$ , а самое уравненіе принимаетъ видъ ур. 152b. Въ какомъ случаѣ вмѣсто этого послѣдняго можно пользоваться ур. 152c — объ этомъ было упомянуто выше.

Посмотримъ теперь, какъ помощью ур. 152b и 152c рѣшаются различныя задачи. Прежде всего необходимо выбрать выраженіе для  $\gamma$ . Если пользоваться напр. форм. (150), то найдемъ:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{64b_1}{\pi^2} = \frac{64}{\pi^2 C^2} = \frac{64}{\pi^2} \cdot 0,00004k \left( \frac{1}{\sqrt[4]{R}} + \frac{0,35(k-3)^2}{V} \right).$$

Полагая  $\frac{64}{\pi^2} \cdot 0,00004k = m$  и замѣчая, что  $R = \frac{1}{4} D$ , напомнимъ ур. 152b въ такомъ видѣ:

$$Q^2 \left\{ \frac{8}{\pi^2 g \mu^2 D^4} + \frac{\sqrt[4]{4} m L}{D^{2,5}} + \frac{0,35(k-3)^2 \pi \cdot m L}{4 Q D^3} \right\} = H.$$

Задаваясь численными значениями  $\mu$ ,  $g$  и  $k$ , можем представить это равенство въ такой формѣ:

$$Q^3 \left\{ \underbrace{\frac{a}{D^4}}_{(1)} + \underbrace{\frac{bL}{D^{2k}}}_{(2)} + \underbrace{\frac{cL}{QD^3}}_{(3)} \right\} = H \dots \dots (153)$$

Принимая напр.  $\mu = 0,8$ ;  $g = 31,2$  ф., найдемъ при мѣрахъ въ футахъ для *новыхъ асфальтированныхъ* трубъ (при  $k = 1$ ):

$$a = 0,03921 \quad b = 0,00036566 \quad c = 0,00002844$$

и для *старыхъ асфальтированныхъ* трубъ (при  $k = 1,5$ ):

$$a = 0,03921 \quad b = 0,0005485 \quad c = 0,000024.$$

Это уравненіе служить для рѣшенія слѣдующихъ *трехъ* вопросовъ:

а) опредѣлить напоръ  $H$  по условію, что труба даннаго діаметра  $D$  и длины  $L$  даетъ извѣстный расходъ  $Q$ ;

б) найти расходъ  $Q$  для трубы извѣстныхъ размѣровъ  $D$  и  $L$  при данномъ напорѣ  $H$ ; и

в) вычислить діаметръ трубы  $D$  по условію, чтобы при напорѣ  $H$  и длинѣ  $L$  она давала расходъ  $Q$ .

Такимъ образомъ изъ уравн. 153 приходится вычислять или  $H$ , или  $Q$ , или  $D$ . Напоръ  $H$  и расходъ  $Q$  опредѣлимъ прямо, рѣшая уравн. 153, которое въ этомъ случаѣ можетъ быть написано въ такомъ видѣ:

$$AQ^2 + BQ = H.$$

Если по оси  $X$  откладывать  $Q$ , а по оси  $Y$  соответственные  $H$ , то эта зависимость между  $Q$  и  $H$  представится параболой, ось которой параллельна  $Y$ , а вершина лежитъ въ точкѣ  $A$  (черт. 151), координаты которой равны:

$$\alpha = -\frac{B}{2A} \quad \beta = -\frac{B^2}{4A}.$$

Вычисленіе  $D$  всего удобнѣе вести помощью послѣдовательныхъ приближеній, — сперва отбрасываются члены (1) и (3) и вычисляется первое приближеніе  $D'$ ; подставляя затѣмъ  $D'$  въ (1) и (3), находимъ второе приближеніе  $D''$  и т. д., пока два послѣдовательныя приближенія окажутся достаточно близкими между собою.

Когда для вычисления употребляется форм. (152с), то послѣ постановки въ все выраженія для  $\gamma$  получается тоже уравн. (153), только безъ 1-го члена.

2) Переходимъ теперь ко второй задачѣ—опредѣленію гидравлическаго давленія въ любой точкѣ водопровода; знаніе этой величины необходимо для вычисления толщины стѣнокъ трубы, для удостовѣренія—можетъ-ли вода въ какой либо точкѣ водопровода подняться на известную высоту, не будетъ ли давленіе меньше атмосфернаго и т. п.

Обозначимъ черезъ  $p$  — гидравлическое давленіе въ точкѣ  $M$  (черт. 167) и черезъ  $l$  — длину части  $M'M''$ . Если разсматривать линію тока  $M_0M''$ , то гидравлическія сопротивленія при входѣ въ трубу выразятся также, какъ выше показано, а гидравлическія сопротивленія на части  $M'M''$  будутъ равны  $\frac{Q^2 l}{\gamma D^5}$ , слѣдовательно уравн. Д. Бернулли приметъ такой видъ:

$$\frac{V^2 - V_0^2}{2g} \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V^2}{2g} + \frac{Q^2 l}{\gamma D^5} = \left( z_0 + \frac{p_0}{\Delta} \right) - \left( z + \frac{p}{\Delta} \right) = \\ = y - \frac{p - p_0}{\Delta}.$$

Отсюда найдемъ высоту *свободнаго напора* (т. е. напора за вычетомъ атмосфернаго давленія):

$$\frac{p - p_0}{\Delta} = y - \frac{V_0^2}{2g} - \left\{ \frac{V^2}{2g} + \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V^2}{2g} + \frac{Q^2 l}{\gamma D^5} \right\} \dots (154)$$

Откладывая эту высоту вверхъ отъ точки  $M''$ , получимъ точку  $m''$ ; если въ трубу въ точкѣ  $M''$  вставить тонкую трубку, открытую сверху, то вода поднимется въ ней на высоту  $M''m''$ ; всѣ точки подобныя  $m''$  лежатъ на *изометрической линіи* или *линіи давленій*  $mm'n'$ . Эту линію можно построить еще другимъ способомъ. Проведемъ горизонтальную линію  $CD$ , отстоящую отъ поверхности резервуара  $A$  на высоту  $\frac{V_0^2}{2g}$ . Пусть т.  $CC'C'' \dots$  суть проекція т.  $MM'M'' \dots$ ;

въ точкѣ  $C$  отложимъ внизъ отрѣзокъ  $Cm = \frac{V^2}{2g\alpha^2} \left( \frac{V}{\alpha} - \text{скорость въ сжатомъ сѣченіи} \right)$ , затѣмъ въ т.  $C'$  отрѣзокъ:

$$C'm' = \frac{V^2}{2g} + \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V^2}{2g};$$

далѣе въ т.  $C''$  отрѣзокъ  $C''m'' = \frac{V^2}{2g} + \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V^2}{2g} + \frac{Q^2 l}{\gamma D^5} =$

$= C'm' + m''s$  и т. д., то, примѣняя теорему Д. Бернулли къ линіямъ тока  $M_0, M, M_0, M'$  и т. д., легко убѣдиться, что найденныя точки  $m, m', m'' \dots$  принадлежатъ линіи давленій. Такъ какъ для точекъ подобныхъ  $m''$  отслагаются отрѣзки равныя  $C'm' + m''s$ , изъ которыхъ первый постояненъ, а второй измѣняется пропорціонально  $l = M'M''$  или, другими словами, пропорціонально  $C'C''$ , то заключаемъ, что линія давленій на протяженіи  $m'n'$  — *прямая*. Чтобы найти точку  $m'''$  соответствующую  $M'''$ , замѣтимъ, что на протяженіи между сѣченіями  $gh$  и сжатымъ происходитъ измѣненіе скорости  $V$  въ большую  $V_2$ , что, какъ извѣстно, сопровождается уменьшеніемъ давленія, а потому для нахождения этой точки достаточно отложить отрѣзокъ  $C'''m''' = m'n' + \left( \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} \right)$ .

Далѣе на протяженіи  $M'''P$  происходитъ быстрое измѣненіе скорости  $V$ , въ меньшую  $V_1$ , сопровождающееся гидравлическими сопротивленіями, высота которыхъ равна  $\frac{(V_2 - V_1)^2}{2g}$ ; поэтому отрѣзокъ  $C_1T$  найдемъ, прибавляя къ  $C'''m'''$  сумму

$$\frac{(V_2 - V_1)^2}{2g} + \left( \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

Но изъ форм. 152 видно, что въ такомъ случаѣ  $C_1T = H + \frac{V_0^2}{2g}$  и точка  $T$  лежитъ на поверхности воды въ 2-мъ резервуарѣ, слѣдов. для т.  $P$  свободный напоръ равенъ  $y - H = PT$  и линія давленій для  $M'''P$  изобразится приблизительно прямой  $m''T$ . Наконецъ, на протяженіи  $PM_1$  скорость  $V_1$  не измѣняется и линія давленій пред-

ставляется здѣсь горизонтальной линіей  $TM_1$ . Такимъ образомъ для линіи тока  $MM_1$  имѣемъ линію давленій  $mm'n'm''TM_1$ .

Что же касается линіи давленій для линіи тока  $M_0M$ , то для части  $M_0R$ , для которой скорость  $V_0$  остается постоянной, линія давленій—есть горизонтальная линія  $M_0E$ ; на протяженіи  $RM$  скорость  $V_0$  переходитъ въ большую равную  $\frac{V}{\alpha}$  и линія давленій изобразится нѣкоторой кривою  $Em$ .

Если предположить, что отверстіе въ діафрагмѣ закрыто, тогда  $V=0$ , также  $V_0=0$  и изъ уравн. 154 найдемъ  $\frac{p-p_1}{\Delta}=y$ , т. е. линія давленій въ этомъ случаѣ совпадаетъ съ горизонтальной линіей  $EF$ . Съ увеличеніемъ отверстія въ діафрагмѣ скорости и расходы увеличиваются; тогда, какъ видно изъ уравн. 154, высоты свободныхъ напоровъ уменьшаются и слѣдов. линія давленій  $Em'n'm''M$ , понижается. Наиболѣе низкое положеніе этой линіи соотвѣтствуетъ случаю, когда діафрагмы нѣтъ; тогда линія давленій изобразится линіей  $M_0E_0r'r''TM_1$ . Отсюда видно, что расходъ или скорость увеличиваются на счетъ давленій: *наибольшему расходу или скорости соотвѣтствуетъ наименьшее давленіе* и наоборотъ.

Изъ сравненія различныхъ линій давленія можно также вывести, что *большему расходу или скорости отвѣчаетъ линія давленій съ большимъ уклономъ*.

Это вытекаетъ также и изъ форм. 154. Изъ этой формулы слѣдуетъ равнымъ образомъ, что давленіе возрастаетъ съ  $y$ ; такъ, напр.: если труба, соединяющая резервуары, опустится и займетъ положеніе показанное на чертежѣ пунктиромъ, а точка  $M''$  совмѣстится съ  $N$ , то давленіе въ  $N$  будетъ больше чѣмъ въ  $M''$  на величину соотвѣтствующую вертикальному разстоянію между этими точками, такъ какъ при новомъ положеніи трубы для нахождения точки  $m'''$  слѣдуетъ по прежнему откладывать отъ точки  $C''$  одинъ и тотъ же отрезокъ  $C''m''$ .

Когда вода вытекаетъ изъ трубы на *воздухъ* (чер. 168), то линія давленій изображается линіей  $M_0Em'n'M''$ . Если отверстіе въ діафрагмѣ закрыто, то линія давленій совпадаетъ съ горизонтальной линіей  $EF$ ; при увеличеніи этого отверстія линія давленій конп-

жается, и когда діафрагмы нѣтъ—она принимаетъ наиболѣе низкое положеніе  $M_0 E_0 r r' r''$ .

3) Разсмотримъ теперь болѣе *общій случай простого водопровода*, когда труба состоитъ изъ частей съ различными діаметрами и продольная ось не прямая линія. Пусть напр. отдѣльныя трубы водопровода имѣютъ діаметры  $D_1, D_2, \dots$  (чер. 169); положимъ, что нѣкоторыя трубы имѣютъ колѣна и закругленія и что на концѣ водопровода, а также и въ нѣкоторыхъ другихъ мѣстахъ его помѣщены діафрагмы.

Гидравлическія сопротивленія, проявляющіяся въ подобномъ водопроводѣ, суть слѣдующія:

а) при входѣ въ трубу—

$$\left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V_1^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g \omega_1^2} \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right);$$

б) при переходѣ изъ узкой трубы въ широкую, напр. при переходѣ изъ трубы діаметра  $D_1$  въ трубу діаметра  $D_2$ —

$$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right)^2;$$

в) при переходѣ изъ широкой трубы въ узкую, напр. при переходѣ изъ трубы  $D_2$  въ трубу  $D_3$ —

$$\left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g \omega_2^2} \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2;$$

г) при переходѣ черезъ діафрагму, поставленную напр. на трубѣ  $D_2$ —

$$\frac{(V_2' - V_2)^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{\alpha O'} - \frac{1}{\omega_2} \right)^2$$

гдѣ  $V_2'$  — скорость въ сжатомъ сѣченіи  $\alpha O'$  по выходѣ струи изъ діафрагмы, и  $O'$ —площадь отверстія въ діафрагмѣ;

д) въ колѣнахъ и закругленіяхъ, въ мѣстахъ расположенія задвижекъ, крановъ, и клапановъ и т. п.; всѣ подобныя сопротивленія исчисляются по формуламъ § 50; если одно изъ этихъ устройствъ

имѣется напр. на трубѣ  $D_3$ , то сопротивление отъ него происходящее можетъ быть представлено подъ видомъ

$$\zeta \frac{V_3^2}{2g} = \frac{Q^2 \zeta}{2g \omega_3^3};$$

е) наконецъ, сопротивление отъ трения въ трубѣ равно:

$$\frac{Q^2 L_1}{\gamma_1 D_1^5} + \frac{Q^2 L_2}{\gamma_2 D_2^5} + \dots = Q^2 \sum \frac{L_i}{\gamma_i D_i^5}.$$

Послѣднее сопротивление—общее, а остальные—мѣстныя.

Тогда рассматривая линію тока  $M, M_1$  и замѣняя  $V_0$  и  $V_{n+1}$  черезъ  $\frac{Q}{\Omega_0}$  и  $\frac{Q}{\alpha O}$ , получимъ уравн. Д. Бернулли въ слѣдующемъ видѣ:

$$\begin{aligned} \frac{Q^2}{2g} \left[ \frac{1}{(\alpha O)^2} - \frac{1}{\Omega_0^2} + \frac{1}{\omega_1^2} \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) - \sum \left( \frac{1}{\omega_1} - \frac{1}{\omega_2} \right)^2 - \sum \frac{1}{\omega_2^3} \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2 - \right. \\ \left. + \sum \left( \frac{1}{\alpha O'} - \frac{1}{\omega_2} \right)^2 + \sum \frac{\zeta}{\omega_2^3} - 2g \sum \frac{L_i}{\gamma_i D_i^5} \right] = H \dots (155) \end{aligned}$$

Въ этомъ выраженіи суммованіе  $\Sigma$  должно быть распространено на всѣ соответственныя общія и мѣстныя сопротивления; входящія сюда коэф.  $\gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_i \dots$  зависятъ соответственно отъ  $D_1$  и  $V_1, D_2$  и  $V_2 \dots$  или, что одно и тоже, отъ  $D_1, D_2 \dots$  и отъ  $Q$ .

Какъ уже упомянуто въ началѣ этого §, при разсмотрѣніи простаго водопровода приходится рѣшать двѣ задачи. Первая изъ нихъ заключается въ опредѣленія одной изъ величинъ: напора  $H$ , расхода  $Q$  и діаметра какой либо одной трубы  $D_k$ . Эти величины находятся помощью ур. (155): первыя двѣ—непосредственно, а третья—помощью послѣдовательныхъ приближеній, выражая въ обоихъ случаяхъ коэф-фициенты  $\gamma_1, \gamma_2 \dots$  черезъ  $D_1, D_2 \dots$  и  $Q$ .

Если для послѣдней дѣли пользоваться форм. (150), то можно написать:

$$\frac{1}{\gamma_i} = m \left( \frac{1}{\sqrt[4]{R_i}} + \frac{0,35(k-3)^2}{V_i} \right) = m \left( \sqrt[4]{\frac{4}{D_i}} + \frac{0,35(k-3)^2 \pi D_i^2}{4Q} \right)$$

гдѣ  $m = \frac{64}{\pi^2} \cdot 0,00004 k$ ; тогда членъ (е) уравн. 155 можетъ быть представленъ еще такъ:

$$\begin{aligned} (e) &= 2g m \sum L_i \left( \sqrt[4]{\frac{4}{D_i^{3/4}}} + \frac{0,35 (k-3)^2 \pi}{4Q D_i^3} \right) = \\ &= 2g m \sqrt[4]{4} \sum \frac{L_i}{D_i^{3/4}} + \frac{2g m \cdot 0,35 (k-3)^2 \pi}{4Q} \sum \frac{L_i}{D_i^3}. \end{aligned}$$

(ж) (з)

Подставляя это выраженіе въ уравн. 155, находимъ прямо  $H$ . Если же опредѣляется  $Q$ , то послѣ подстановки можемъ это уравненіе переписать слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{aligned} &\left[ (1) + (2) + (a) + (б) + (в) + (г) + (д) + (ж) \right] \frac{Q^2}{2g} + \\ &+ \left[ \frac{m \cdot 0,35 (k-3)^2 \pi}{4} \sum \frac{L_i}{D_i^3} \right] Q = H. \end{aligned}$$

Рѣшая это квадратное уравненіе, находимъ  $Q$ .

Диаметръ какой либо трубы  $D_k$  вычисляется, какъ сказано, попытками слѣдующимъ образомъ.

Выдѣляя изъ суммы членовъ (ж) и (з) члены заключающіе искомый діаметръ, найдемъ:

$$\begin{aligned} (ж) + (з) &= 2g m \sqrt[4]{4} \left( \sum \frac{L_i}{D_i^{3/4}} + \frac{L_k}{D_k^{3/4}} \right) + \\ &+ \frac{2g m \cdot 0,35 (k-3)^2 \pi}{4Q} \left( \sum \frac{L_i}{D_i^3} + \frac{L_k}{D_k^3} \right) \end{aligned}$$

Внося это выраженіе въ уравн. 155, перенишемъ это послѣднее въ такомъ видѣ:

$$\left( A + m \sqrt[4]{4} \frac{L_k}{D_k^{3/4}} + \frac{m \cdot 0,35 (k-3)^2 \pi}{4Q} \frac{L_k}{D_k^3} \right) Q^2 = H.$$

(к) (л) (м)

Здѣсь черезъ  $A$ —обозначена сумма членовъ не заключающихъ  $D_k$ . Отбрасывая сперва членъ (м), находимъ первое приближеніе  $D'_k$ ; под-

ставляя его въ (м), вычисляемъ второе приближеніе  $D''_k$  и т. д., пока не получимъ двухъ послѣдовательныхъ приближеній достаточно близкихъ между собою.

Обратимся теперь къ *второй* задачѣ — опредѣленію гидравлическаго давленія въ какой либо точкѣ  $M_2$  водопровода, и съ этою цѣлью рассмотримъ линію тока  $M_0 M_2$ . Примѣняя къ этой линіи теорему Д. Бернулли, получимъ для высоты *свободнаго напора* слѣдующее выраженіе:

$$\frac{p - p_0}{\Delta} = y + \frac{V_0^2}{2g} - \left[ \frac{V_2^2}{2g} + \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V_1^2}{2g} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} + \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g} + \frac{Q^2 L_1}{\gamma_1 D_1^5} + \frac{Q^2 (L'_2 + l)}{\gamma_2 D_2^5} \right].$$

Построеніе линіи давленія для этого случая производится во всемъ согласно съ изложеннымъ во второмъ пунктѣ этого §. Проводимъ горизонтальную линію  $CD$  въ разстояніи  $\frac{V_0^2}{2g}$  отъ поверхности воды въ резервуарѣ  $A$ , назначаемъ на ней точки  $C C_1 \dots$  и откладываемъ отъ  $C$  выпъ  $Cm = \frac{V_1^2}{2g\alpha^2}$ ; далѣе отъ т.  $C_1$  откладываемъ  $C_1 m_1 = Cm +$  высота гидравл. сопротивленій при входѣ въ трубу; затѣмъ отъ т.  $C_2$  отрѣзокъ  $C_2 m_2 = C_1 m_1 +$  высота гидравл. сопротивленій въ трубѣ на длинѣ  $L_1$  и т. д. Очевидно, что линія давленій изображается *прямой* на всемъ томъ протяженіи, гдѣ нѣтъ мѣстныхъ сопротивленій, напр. для  $M' M''$  линія давленій — прямая  $m_1 m_2$ . Тамъ же, гдѣ имѣются эти сопротивленія, линія давленій изобразится нѣкоторой кривою, замѣненной на чертежѣ для простоты — прямой. Для линіи тока  $M_0 R$  линія давленій — горизонтальная прямая  $M_0 E$  а для  $RM$  — кривая  $Em$ . И такъ, въ этомъ случаѣ линія давленій представится линіей  $M_0 E m m_1 \dots m_n M_1$ .

Уклоны линій  $m_1 m_2, m_2 m_3 \dots$  зависятъ отъ діаметровъ соответственныхъ трубъ. Изъ § 45 извѣстно, что гидравлическія сопротивленія увеличиваются съ увеличеніемъ скорости и съ уменьшеніемъ діаметра; такъ какъ въ рассматриваемомъ случаѣ меньшему діаметру соответствуетъ большая скорость, то слѣдовательно гидравлическія сопротивленія на единицу длины трубы тѣмъ больше, чѣмъ меньше

діаметръ. Отсюда заключаемъ, что *уклонъ* линій давленія  $m_1, m_2, m_3, m_4 \dots$  тѣмъ *больше*, чѣмъ *меньше* діаметръ соответственной трубы.

4) Въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ характеръ движенія, а слѣдовательно и кривая давленій нѣсколько видоизмѣняется сравнительно съ изложеннымъ во 2 пунктѣ этого §. Такъ, напр., если изъ резервуара, поверхность воды въ которомъ есть  $mn$  (черт. 170), вода отводится трубой подъ напоромъ  $H$ , то соответственно этому напору, длинѣ и діаметру трубы устанавливается нѣкоторая скорость  $V$  и расходъ  $Q$ , а линія давленій изобразится линіей  $edc$ . Но если при этомъ глубина воды въ резервуарѣ не велика или притокъ въ резервуаръ меньше  $Q$ , то надъ входнымъ отверстіемъ трубы образуется воронка и поверхность воды около отверстія понижается до  $m'n'$ . Тогда вода движется по трубѣ на нѣкоторомъ протяженіи  $ab$  какъ по открытому руслу, не наполняя всего сѣченія трубы; только начиная съ  $b$  вода движется полнымъ сѣченіемъ но подъ напоромъ  $H'$  меньшимъ  $H$ , слѣдовательно при этомъ будетъ скорость  $V'$  и расходъ  $Q'$  меньшія  $V$  и  $Q$ , а линія давленій представится прямою  $bc$ .

Конечно, если-бы въ этомъ случаѣ какимъ-либо образомъ уменьшить  $V$  а слѣдовательно  $Q$ , напр. уменьшая  $H$  поднятіемъ вверхъ нижняго конца трубы или значительно удлиняя трубу или наконецъ уменьшая діаметръ, то движеніе совершалось-бы вполне правильно, безъ образованія воронки.

Иногда характеръ движенія видоизмѣняется еще сильнѣе. Рассмотримъ напр. случай наблюденный *Лампе* въ Дандигскомъ водопроводѣ. Въ этомъ водопроводѣ труба діаметромъ  $16\frac{1}{2}$  дюйм. в длину  $13\frac{1}{4}$  версты доставляетъ воду изъ ключевого бассейна  $A$  (черт. 171) въ напорный резервуаръ  $B$ . Горизонтъ воды въ  $A$  могъ возвыситься надъ входнымъ отверстіемъ трубы не болѣе какъ на 3 ф., что очень мало сравнительно съ діаметромъ трубы; поэтому надъ отверстіемъ образовывалась воронка и вода шла полнымъ сѣченіемъ только начиная съ  $G$ . Очевидно, съ увеличеніемъ притока воды изъ ключей или съ уменьшеніемъ расхода по трубѣ точка  $G$  должна повышаться и наоборотъ.

Согласно изложенному выше линія давленій должна здѣсь изображаться прямою  $GB$ , если только пренебречь гидравлическими сопротивленіями отъ многочисленныхъ поворотовъ линіи, что возможно допустить, какъ показали опыты *Лампе*. При этомъ часть трубы  $CDE$

оказывается лежащей выше линии давления  $GB$ , следовательно гидравлическія давленія въ этой части *меньше атмосфернаго* давленія, такъ что черезъ кранъ помѣщенный гдѣ-либо на части  $CDE$  вода не пойдетъ, а наоборотъ наружный воздухъ будетъ всасываться во внутрь \*). *Наименьшее* давленіе въ части  $CDE$  соответствуетъ точкѣ  $D$ ; оно опредѣлится изъ равенства: 
$$\frac{p_0 - p}{\Delta} = DF.$$

Такъ какъ для жидкости  $p > 0$ , то  $DF$  должно быть меньше высоты водяного столба, соответствующаго атмосферному давленію, т. е. меньше 34 фута. Въ дѣйствительности  $DF$  равнялось 31 ф.; поэтому черезъ всѣ стыки линіи  $CDE$  всасывался наружный воздухъ и собирался въ  $D$ ; тамъ же скоплялись воздухъ и другіе газы выдѣлявшіеся изъ воды. Очевидно, вслѣдствіе этого расходъ уменьшался и кривая давленія повышалась до тѣхъ поръ, пока существовала причина вызывавшая такое явленіе, т. е. пока въ линіи  $CDE$  было давленіе меньше атмосфернаго; такимъ образомъ линія давленій должна была наконецъ принять положеніе  $KD$ , при которомъ въ точкѣ  $D$  давленіе равнялось атмосферному. Въ этомъ случаѣ въ части  $DEB$  линія давленій изобразилась-бы прямой  $DB$ ; но уклонъ этой прямой больше чѣмъ  $KD$ , а потому при существованіи линіи  $DB$  расходъ въ  $DEB$  долженъ быть больше чѣмъ въ  $KCD$ , что невозможно; слѣдовательно уклонъ линіи давленій въ  $DEB$  долженъ равняться уклону  $KD$ ; такая линія есть  $MB$ . На линіи  $DMF$  вѣроятно вода движется не полнымъ сѣченіемъ, давленіе здѣсь равно атмосферному и линія давленій совпадаетъ съ  $DEM$ . И такъ въ разсматриваемомъ случаѣ линія давленій изобразится линіей  $KDEMVB$ .

5) Разсмотримъ теперь случай *сифона* (черт. 172). Сифонъ въ простѣйшемъ видѣ представляетъ трубу, проводящую воду изъ резервуара  $A$  въ *ниже лежащій* резервуаръ  $B$  и расположенную выше линіи  $AB$ , соединяющей уровни этихъ резервуаровъ. Движеніе жидкости въ сифонѣ происходитъ отъ давленія атмосферы вслѣдствіе разности уровней  $II$ .

\*) Помимо крана воздухъ будетъ всасываться черезъ стыки трубъ и скопляться въ колѣнѣ  $D$ , стѣнная поперечное сѣченіе трубы и черезъ то произведя значительное сопротивленіе движенію. Въ виду этого слѣдуетъ избѣгать такого расположенія водопроводной линіи, при которомъ въ какой-либо части ея получается давленіе меньше атмосфернаго.

Примѣняя теорему Д. Бернулли къ линіи тока  $M_0, M_1, M$ , напишемъ, согласно вышеизложенному, слѣдующее уравненіе:

$$\frac{V^2 - V_0^2}{2g} + \left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \frac{V^2}{2g} + \zeta \frac{V^2}{2g} + \frac{Q^2 l}{\gamma D^5} = \left(z_0 + \frac{p_0}{\Delta}\right) - \left(z + \frac{p}{\Delta}\right).$$

Здѣсь въ первой части представляютъ: 2-й членъ — гидравлическія сопротивленія при входѣ въ трубу, 3-й членъ — остальные мѣстныя сопротивленія на линіи  $M_1, M$  и 4-й — общія сопротивленія на той же линіи. Если обозначить  $z - z_0 = y$ , то изъ предыдущаго равенства получается выраженіе тождественное уравн. 154 (стр. 297):

$$\frac{p - p_0}{\Delta} = -y + \frac{V_0^2}{2g} - \left\{ \frac{V^2}{2g} + \left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \frac{V^2}{2g} + \zeta \frac{V^2}{2g} + \frac{Q^2 l}{\gamma D^5} \right\} \quad (156)$$

Такъ какъ вторая часть этого уравненія отрицательна, то заключаемъ, что гидравлическія давленія въ сифонѣ *меньше* атмосфернаго. Очевидно, чѣмъ *выше* отъ уровня резервуара  $A$  расположена точка  $M$  и чѣмъ она лежитъ *дальше* отъ начала трубы, тѣмъ больше  $y$  и  $\frac{Q^2 l}{\gamma D^5}$ , и тѣмъ меньше давленіе  $p$ . Но для жидкости  $p > 0$ , поэтому для всякой точки сифона должно быть выполнено условіе  $\frac{p_0 - p}{\Delta} < \frac{p_0}{\Delta}$  или

$$y + \left\{ \left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \frac{V^2}{2g} + \zeta \frac{V^2}{2g} + \frac{Q^2 l}{\gamma D^5} \right\} + \frac{V^2 - V_0^2}{2g} < \frac{p_0}{\Delta}. \quad \dots \quad (156a)$$

Это неравенство заключаетъ въ себѣ условіе, соблюденіе котораго необходимо для возможности дѣйствія сифона; именно, оно выражаетъ, что вертикальное разстояніе  $y$  любой точки сифона отъ горизонта  $AF$  верхняго резервуара, увеличенное гидравлическими сопротивленіями отъ начала трубы до этой точки и сложенное съ количествомъ  $\frac{V^2 - V_0^2}{2g}$ , должно быть *меньше* высоты атмосфернаго давленія, т. е. меньше 34 футъ. Если это условіе будетъ выполнено для *опасной* точки сифона, т. е. для той, для которой первая часть предыдущаго неравенства получается *наибольшей*, то для всѣхъ остальныхъ точекъ оно и подавно будетъ удовлетворено.

Для опредѣленія опасной точки построимъ линію давленій для линіи тока  $M_0, M_2$ ; при этомъ слѣдуетъ поступать такъ же, какъ и въ

случаѣ простого водопровода (см. 2-й пунктъ этого §). Проведемъ горизонтальную линію  $CD$  въ разстояніи отъ  $AF$  равномъ  $\frac{V_0^2}{2g}$ ; тогда, для какой либо точки  $M$ , линія  $MQ = y - \frac{V_c^2}{2g}$  и, откладывая отъ точки  $Q$  внизъ отрѣзокъ  $QS$  равный

$$QS = \frac{V^2}{2g} + \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V^2}{2g} + \zeta \frac{V^2}{2g} = \frac{Q^2 l}{\gamma D^5}$$

найдемъ точку  $S$  для линіи давленія. Подобнымъ же образомъ можно найти и другія точки этой линіи.

Для линіи тока  $M_0 R$ , для которой скорость равная  $V_0$  остается постоянной, линія давленія изображается горизонтальной прямою  $M_0 E$ ; далѣе, для линіи тока  $RM_1$  ( $M_1$ —центр тяжести сжатого сѣченія струи при входѣ въ трубу) линіей давленія будетъ кривая  $Er$ ; затѣмъ, для  $M_1 M'$  ( $M'$ —начало закругленія трубы) линія давленій есть прямая  $r r'$ ; для  $M' M''$  ( $M''$ —конецъ закругленія трубы) линія давленій представится кривою  $r' r''$ ; для  $M'' N$  линія давленій изобразится прямою  $r'' q$ ; наконецъ линіямъ тока: въ закругленіи  $NN'$ , въ вертикальной трубѣ  $N' M_2$ , въ резервуарѣ  $B$  на протяженіи  $M_2 R$  (гдѣ скорость  $V$  переходитъ въ  $V_1$ ) и въ томъ же резервуарѣ на протяженіи  $R' M_3$ —соотвѣтствуютъ линіи давленій: кривая  $qm$ , вертикальная прямая  $mm'$ , кривая  $m'n$  и горизонтальная прямая  $nM_3$ .

Если на сифонѣ помѣщены колѣна, краны, клапаны и т. п. устройства, то въ каждомъ частномъ случаѣ можно опредѣлить сопротивленія, отъ нихъ происходящія, и затѣмъ соотвѣственнымъ образомъ замѣнить линію давленій.

Вертикальное разстояніе  $MS = \xi$  между какой либо точкой  $M$  линіи тока и соотвѣтственной ей точкой  $S$  линіи давленій равно:

$$MS = \xi = y - \frac{V_0^2}{2g} + QS$$

представляетъ очевидно 1-ю часть выраженія (156a), которое, слѣдов., можетъ быть написано такъ:  $\xi < \frac{P_0}{\Delta}$ .

Точка  $N$ , для которой  $\xi = Nq$  имѣетъ наибольшую величину, очевидно и есть искомая опасная точка сифона; положеніе ея, при

известной кривой давления, определяется из чертежа. Если разсматривать часть сифона  $LM_2$ , прилежащую къ нижнему резервуару, то легко видѣть, что для удовлетворенія неравенству (156a) необходимо, чтобы для этой части было  $y + H < \frac{p_0}{\Delta}$ . Такимъ образомъ, если возвышеніе какой-либо точки сифона надъ уровнемъ *верхняго* резервуара равно или болѣе 34 футъ (т. е.  $y \cong \frac{p_0}{\Delta}$ ) или если возвышеніе части сифона вблизи *нижняго* резервуара надъ горизонтомъ этого резервуара равно или болѣе 34 футъ (т. е.  $y + H \cong \frac{p_0}{\Delta}$ ), то неравенство (156a) не удовлетворяется, и сифонъ не можетъ дѣйствовать.

Что касается *разчета* сифона, т. е. опредѣленія одной изъ величинъ  $H$ ,  $D$ ,  $Q$  или  $V$ , когда остальные изъ нихъ известны, то все сказанное въ 1-мъ пунктѣ этого § относительно разчета трубы, соединяющей два резервуара, вполне примѣняется и въ разсматриваемомъ случаѣ.

Для приведенія сифона въ дѣйствіе необходимо изъ него удалить воздухъ, что достигается двумя путями: или наполненіемъ сифона водою, или выкачиваніемъ воздуха изъ сифона воздушнымъ насосомъ, струйчатымъ пневматическимъ насосомъ (см. описаніе стр. 134) и т. п.

Сифоны употребляются въ инженерномъ дѣлѣ: а) при *водоснабженіяхъ* — для проведенія почвенной воды изъ нѣсколькихъ колодезь въ одинъ обшій, для проведенія воды изъ прудовъ при вододержательныхъ плотинахъ; б) въ *водостокахъ* — для проведенія сточной воды черезъ рѣку изъ одного водостока въ другой помощью трубы уложенной по мосту и т. п.

На черт. 173 показанъ сифонъ, употребляемый въ первомъ случаѣ. Вода изъ малыхъ колодезь  $AA'$  проводится боковыми трубами  $ab$ ,  $a'b'$  въ главную трубу  $bb'cd$ , оканчивающуюся въ большемъ колодезѣ  $B$ ; изъ этого послѣдняго вода выкачивается насосами помощью заборной трубы  $pq$ . На боковыхъ трубахъ ставятся краны  $r$  и  $r'$  для отдѣленія, въ случаѣ надобности, какого-либо колодца отъ всей остальной системы. Если удаленіе воздуха производится наполненіемъ сифона водою, то на нижнихъ концахъ главной и боковыхъ трубъ номѣщаются клапаны  $a$ ,  $a'$ ,  $d$ , препятствующіе водѣ выливаться изъ трубъ въ колодезь и приводимые въ дѣйствіе стержнями  $am$ ,  $a'm'$ ,  $ed$ . Для

облегченія выхода воздуха главную трубу слѣдуетъ уложить съ небольшимъ подъемомъ вверхъ по направленію движенія воды и на концѣ этой трубы устроить воздушный колоколъ *се* съ 2-мя кранами—однимъ для впуска воды и другимъ для выпуска воздуха. Закрывъ всѣ клапаны, наполняютъ сперва сифонъ водою, затѣмъ понизивъ откачкой уровень воды въ большомъ колодцѣ, постепенно отыраываютъ клапаны и такимъ образомъ приводятъ сифонъ въ дѣйствіе. Воздухъ просачивающійся въ стыки трубъ а также выдѣляющійся изъ воды собирается въ воздушномъ колоколѣ, откуда затѣмъ и удаляется.

На черт. 174 показано второе примѣненіе сифона къ водоснабженію. Въ Англіи весьма распространенъ способъ сбора воды для водоснабженій, заключающійся въ томъ, что длинна ручья или рѣчки, признанной наиболѣе пригодной къ тому, преграждается поперечной земляной плотиною, и такимъ образомъ по одну сторону отъ нея образуется водохранилище или прудъ. Изъ послѣднато вода проводится далѣе чаще всего—каменными трубами, устроенными на подобіе таковыхъ трубъ подъ желѣзнодорожными насыпями, и рѣже—сифономъ изъ металлическихъ трубъ, уложенныхъ по верху и по откосамъ плотины. Черт. 174 изображаетъ поперечный разрѣзъ земляной водоподъемной плотины съ уложеннымъ на ней сифономъ *abcd*. На восходящей вѣтви сифона помѣщены короткіе отростки съ забирными колпаками *a*, *a'*, *a''* и кранами, приводимыми въ дѣйствіе штангами *ab'*, *a'b'* и *a''b'*, что даетъ возможность брать воду сифономъ изъ верхнихъ (наболѣе чистыхъ) слоевъ пруда какъ при высокомъ, такъ и при низкомъ горизонтѣ воды въ прудѣ.—Въ верхней части сифона установлены: воздушный колоколъ *b* для приѣма воздуха, попадающато въ сифонъ, и отростокъ *c* съ краномъ, служащій для наполненія сифона водою; для послѣдней цѣли на нижнемъ концѣ нисходящей вѣтви сифона устроенъ кранъ *d*.

На черт. 175 показано въ схемѣ примѣненіе сифона къ водостокамъ. Проведеніе водостока *AA'* черезъ рѣку можетъ быть устроено двоякимъ образомъ—или *докеромъ BB'* въ видѣ металлической трубы заложеной подъ дномъ рѣки, или сифономъ *CDEF* въ видѣ такой же трубы уложеной по мосту. Первое устройство, говоря вообще, затруднительнѣе и дороже второго.

Въ Бреславлѣ для провода сточныхъ водъ черезъ р. Одеръ былъ

проложенъ по мосту сифонъ діаметромъ 6 дюйм. и длиною около 400 фут. Воздухъ собирался въ колоколъ *M* и затѣмъ автоматически удалялся изъ сифона помощью струйчатого пневматическаго насоса Кертинга. Устройство колокола *M* показано на черт. 176 *a*, *b* и *c* и заключается въ слѣдующемъ. Сточная вода по трубѣ *D* входитъ въ колоколъ *M* а оттуда по трубѣ *E* въ водостокъ, при этомъ воздухъ и газы, находящіеся въ водѣ въ изобиліи, выдѣляются изъ нея и собираются вверху колокола. Въ колоколѣ помѣщенъ поплавокъ *C*, который по мѣрѣ накопленія газовъ опускается и помощью соединенныхъ съ нимъ стержней *a a' a''* вращаетъ горизонтальный валъ *b*. На этомъ валу, внѣ колокола, насажены: на-глухо—дискъ *c* съ двумя пальцами *h* и *i*, и свободно—рычагъ *d* съ грузомъ *d'* на концѣ, и рычаги *h* и *h'*, имѣющіе общую втулку; изъ нихъ рычагъ *h'* соединяетъ шарниромъ съ клапаномъ *e*, поставленнымъ на трубѣ *fg*. Эта труба примыкаетъ къ городскому водопроводу. Если клапанъ *e* открытъ, то вода изъ водопровода по трубѣ *fg* проходитъ въ струйчатый пневматическій насосъ *B*, увлекаетъ съ собою воздухъ изъ колокола и затѣмъ по трубѣ *B'* отводится въ водостокъ. Клапанъ *e* дѣйствуетъ автоматически; при опусканіи поплавокъ *C* ось *b* и дискъ *c* поворачиваются въ сторону движенія часовыхъ стрѣлокъ, при этомъ палецъ *h* перекидываетъ слѣва направо грузъ *d'*, который падая на рычагъ *h'* заставляетъ его нѣсколько опуститься; тогда клапанъ *e* сразу открывается и насосъ приходитъ въ дѣйствіе. По мѣрѣ удаленія воздуха поплавокъ *C* поднимается, причемъ палецъ *i* поднимаетъ постепенно рычагъ *d*, пока послѣдній не приметъ вертикальнаго положенія. Вслѣдъ за этимъ грузъ *d'* падаетъ влѣво, ударяетъ въ рычагъ *h* и сразу закрываетъ клапанъ.

Вышеописанное устройство принадлежит *Эгеру*. Въ сутки колоколъ опорожняется 5—6 разъ, и каждое опорожненіе продолжается 1—2 минуты. Удаленіе воздуха изъ всего сифона производится этимъ же аппаратомъ и совершается въ продолженія 6—10 минутъ \*).

\*) Расчетъ сифонныхъ съ подробностями относительно дѣйствія нахъ помѣщенъ въ сочиненіи: *Hartmann*. Die Pumpen. 1889. Berlin S. 399—408. Изъ этого сочиненія какъ замечательныя черт. 176 *a*, *b* и *c*.

§ 52. Уравнение для неравномернаго движенія. Потеря напора для трубъ съ переменнымъ діаметромъ и для трубъ съ переменнымъ расходомъ.

Въ предыдущихъ §§ разсматривалось *равномерное* движеніе въ трубахъ. Переходимъ теперь къ случаямъ *неравномернаго* движенія; это движеніе имѣетъ мѣсто, напр., тогда, когда діаметръ трубы постепенно измѣняется изъ  $D$  въ  $D_1$  (черт. 177) а расходъ остается постояннымъ, или когда при постоянномъ діаметрѣ расходъ постепенно измѣняется изъ  $Q+P$  въ  $Q$  (черт. 178). Въ этихъ случаяхъ, такъ же какъ и при равномерномъ движеніи, всѣ гидравлическія сопротивленія мы будемъ представлять подъ видомъ тренія между смоченной стѣнкой трубы и ближайшими частицами воды.

Для какой-либо линіи тока  $M_0M$  (черт. 177 и 178) высота гидравлическихъ сопротивленій (т. е. величина гидравл. сопротивленій на единицу вѣса жидкости) изображается въ самомъ общемъ видѣ, какъ извѣстно, такъ:

$$h'' - h''_0 = -\frac{1}{g} \int_0^s \varphi \, d\sigma \, \text{Cos} \gamma$$

гдѣ:  $\varphi$ —сила тренія на едн. массы жидкости въ какой-либо точкѣ линіи  $M_0M$ ,  $d\sigma$ — путь, проходимый точкой приложенія этой силы въ моментъ времени  $dt$ , и  $\gamma$ —уголъ между  $d\sigma$  и направленіемъ силы. Найдемъ для даннаго случая значеніе второй части этого равенства.

Если разсматривать безконечно-тонкій слой жидкости между двумя смежными поперечными сѣченіями  $mn$  и  $m'n'$ , то сила тренія для этого слоя равна  $t \chi \, ds$ , гдѣ  $t$ —единичная сила тренія,  $\chi$ —периметръ сѣченія и  $ds$ —разстояніе между сѣченіями; масса жидкости въ объемѣ  $mn m'n' = \frac{\Delta}{g} \omega \, ds$ ; слѣдовательно, сила тренія отнесенная на единицу массы жидкости этого объема  $\varphi = g \frac{t}{\Delta} \frac{\chi}{\omega}$ ; въ тоже время  $\text{Cos} \gamma = -1$ , а  $d\sigma$  можно принять равнымъ  $ds$ ; такъ что для высоты гидравлическихъ сопротивленій при неравномерномъ движеніи получимъ такое выраженіе:

$$h'' - h''_0 = \int_0^s \frac{t}{\Delta} \frac{\chi}{\omega} \, ds$$

здѣсь  $s_0$  и  $s$  суть разстоянія точек  $M_0$  и  $M$  отъ какого-либо начального сѣченія. Обыкновенно принимаютъ, что въ этомъ случаѣ  $t$  имѣеть ту же величину, какъ и при равномерномъ движеніи, т. е.  $\frac{t}{\Delta} = b_1 V^2$ , гдѣ  $V$  — скорость частицъ слоя  $mm'n'$ . Выражая  $V$  черезъ расходъ  $q$ , соответствующій сѣченію  $mn$ , и замѣняя  $\chi$  и  $\omega$  соответственными значеніями, можемъ предшествующее равенство написать такъ:

$$h'' - h''_0 = \int_{s_0}^s \frac{q^2 ds}{\gamma \delta^5} \dots \dots \dots (157)$$

гдѣ  $\delta$  — діаметръ трубы въ какомъ-либо сѣченіи  $mn$ , а  $\gamma = \frac{\pi^2}{64 b_1}$ .

Пользуясь вышеприведеннымъ значеніемъ для гидравлическихъ сопротивленій ( $h'' - h''_0$ ), можемъ написать уравн. Д. Бернулли для какой-либо линіи тока  $M_0 M$  въ такомъ видѣ:

$$\frac{V^2}{2g} - \frac{V_0^2}{2g} + \int_{s_0}^s \frac{t}{\Delta} \frac{\chi}{\omega} ds = \left( z_0 + \frac{p_0}{\Delta} \right) - \left( z + \frac{p}{\Delta} \right) = y \dots (157a)$$

Оно показываетъ, что напоръ  $y$  тратится на побѣжденіе гидравлическихъ сопротивленій по пути  $M_0 M$  и на взмѣненіе скорости  $V_0$  въ  $V$ .

Когда движеніе равномерное, то  $V = V_0$  и получится уже ранѣе выведенное уравненіе (стр. 225 уравн. 130).

Если предположить, что рассматриваемая линія  $M_0 M$  бесконечно мала, то, принимая  $V_0, z_0, p_0, s_0$  постоянными а  $V, z, p$  и  $s$  переменными, изъ уравн. (157a) выведемъ слѣдующее:

$$-\frac{V dV}{g} + \frac{t}{\Delta} \frac{\chi}{\omega} ds = - \left( dz + \frac{dp}{\Delta} \right) = dy \dots \dots (157b)$$

Здѣсь вторая часть равенства представляетъ дифференціалъ напора. Уравненія 157a и b суть уравненія неравномернаго движенія: первое — конечнаго вида, а второе — дифференціальное. Какъ увидимъ ниже, уравненія неравномернаго движенія въ рѣкахъ имѣють тотъ же видъ.

Разсмотримъ теперь главнѣйшіе частные случаи.

1) Положивъ, расходъ *постояненъ* и  $q = Q$  а труба коническая, имѣющая въ начальномъ и конечномъ сѣченіяхъ діаметры  $D_0$  и  $D_1$  (черт. 177). Опредѣлимъ потерю напора для линіи тока  $M_0 M = l$ , для чего интегрированіе по  $s$  въ уравн. 157, замѣнимъ интегрированіемъ по діаметру  $\delta$ . Пусть  $M_0 M_1 = L$  и  $M_0 r = x$ , тогда получимъ

$$\delta = D_1 + (D_0 - D_1) \frac{L - x}{L};$$

отсюда дифференцированіемъ по  $\delta$  и  $x$  найдемъ:

$$dx = ds = - \frac{L d\delta}{D_0 - D_1}.$$

Вставляя въ (157) это выраженіе вмѣсто  $ds$  и замѣняя предѣлы интегрированія  $s_0$  и  $s$  черезъ  $D_0$  и  $D$ , выведемъ окончательно потерю напора для части трубы, заключенной между сѣченіями съ діаметрами  $D_0$  и  $D$ :

$$h'' - h_0'' = - \frac{Q^2 L}{D_0 - D_1} \int_{D_1}^{D_0} \frac{d\delta}{\gamma \delta^5} = \frac{Q^2 L}{4\gamma_1 D_0^4 D_1^4} \cdot \frac{D_0^4 - D_1^4}{D_0 - D_1}. \quad (158)$$

Коэффициентъ  $\gamma$ , измѣняющійся вмѣстѣ съ  $\delta$ , замѣненъ при интегрированіи средней величиной  $\gamma_1$ , соответствующей среднему діаметру =  $\frac{1}{2} (D_0 + D)$ .

Для всей линіи тока  $M_0 M_1$  получится потеря равная:

$$h'' - h_1'' = \frac{Q^2 L}{4\gamma_1 D_0^4 D_1^4} \cdot \frac{D_0^4 - D_1^4}{D_0 - D_1} = \frac{Q^2 L}{4\gamma_1 D_0^4 D_1^4} (D_0 + D_1)(D_0^2 + D_1^2). \quad (158a)$$

Предложимъ себѣ задачу—замѣнить коническую трубу цилиндрической, которая при тѣхъ же длинѣ и расходѣ давала бы одинаковую потерю напора.

Если  $\delta$ —діаметръ такой трубы, то онъ опредѣлится изъ равенства:

$$h'' - h_0'' = \frac{Q^2 L}{4\gamma_1 D_0^4 D_1^4} \cdot \frac{D_0^4 - D_1^4}{D_0 - D_1} = \frac{Q^2 L}{\gamma_2 \delta^5};$$

откуда:

$$\gamma_2 \delta^5 = 4\gamma_1 D_0^4 D_1^4 \frac{D_0 - D_1}{D_0^4 - D_1^4} = A.$$

Если для  $\gamma$ , пользоваться уравн. (150), то получим:

$$\gamma_2 = \frac{\pi^2}{64\delta_1} = \frac{\pi^2 C^2}{64} = \frac{\pi^2}{64} \frac{1}{0,00004 k \left( \frac{1}{\sqrt{R}} + \frac{0,35(k-3)^2}{V} \right)}$$

или

$$\gamma_2 = \frac{\pi^2 Q}{16\sqrt[4]{4} \cdot 0,00004 k \left( 4Q + \frac{0,35(k-3)^2 \pi \delta^{3/4}}{\sqrt[4]{4}} \right)}$$

Вставляя это выражение въ предыдущее равенство, найдемъ:

$$\frac{\pi^2 Q \delta^{3/4}}{16\sqrt[4]{4} \cdot 0,00004 k} = \frac{0,35(k-3)^2 \pi A \delta^{3/4}}{\sqrt[4]{4}} = 4 A Q$$

или въ общемъ видѣ:

$$\frac{a\delta^{3/4}}{(1)} = \frac{b\delta^{3/4}}{(2)} = 4 A Q.$$

Изъ этого равенства  $\delta$  опредѣлится последовательными приближеніями; а именно: полагая сперва въ членѣ (2)  $\delta$  равнымъ среднему диаметру  $1/2 (D_0 + D_1)$ , находимъ первое приближеніе  $\delta'$ ; затѣмъ, подставляя  $\delta'$  въ (2) членъ и рѣшая уравненіе, получимъ второе приближеніе  $\delta''$  и т. д.

Необходимо замѣтить при этомъ, что объ трубы — цилиндрическая и коническая — при одной и той же потерѣ напора въ концѣ, будутъ давать въ любомъ поперечномъ сѣченіи различныя потери напора, такъ какъ для первой трубы кривая давленій изображается прямою, а для второй — нѣкоторой кривою линіей *abc*.

2) Пусть диаметръ *постоянный*  $D$  а расходъ *переменный*; положимъ, онъ измѣняется изъ  $P + Q$  въ  $Q$  пропорціонально длинѣ трубы  $L$ ; въ этомъ случаѣ  $P$  называется *равномернымъ расходомъ по пути*,  $\frac{P}{L}$  — расходомъ на единицу длины трубы и  $Q$  — *постояннымъ* расходомъ. Тогда расходъ  $q$  для какого либо сѣченія  $m$ , отстоящаго отъ начальнаго на разстояніи  $x$ , равняется (черт. 178 и 178 bis):

$$q = P + Q - \frac{Px}{L} = Q + \frac{P(L-x)}{L};$$

отсюда:

$$dq = -\frac{Pdx}{L} \quad \text{и} \quad dx = ds = -\frac{Ldq}{P}.$$

Подставимъ въ (157) эти значенія для  $q$  и  $ds$  и замѣнимъ  $\delta$  черезъ  $D$ , а предѣлы интегрированія  $s_0$  и  $s$  черезъ  $P+Q$  и  $S$ , гдѣ  $S$  — расходъ для сѣченія, отстоящаго на  $x=l$  отъ начальнаго, равный:

$$S = Q + \frac{P(L-l)}{L}.$$

Тогда опредѣлится потеря напора для части трубы длиною  $l$ :

$$\begin{aligned} h'' - h_0'' &= -\frac{L}{PD^5} \int_{P+Q}^S \frac{q^2 dq}{\gamma} = \\ &= \frac{L}{3\gamma_1 PD^5} \left\{ (P+Q)^3 - \left( Q + \frac{P(L-l)}{L} \right)^3 \right\}. \quad (159) \end{aligned}$$

Коеф.  $\gamma$ , измѣняющійся въ рассматриваемомъ случаѣ вмѣстѣ съ  $q$ , замѣненъ при интегрированіи средней величиной  $\gamma_1$  для средняго расхода равнаго  $\frac{1}{2}(P+Q+S)$ . Для всей трубы потеря напора равна:

$$h'' - h_0'' = \frac{L}{3\gamma_1 PD^5} [(P+Q)^3 - Q^3]. \quad (159 a)$$

Обозначая:

$$\beta = \frac{Q}{P+Q}$$

можемъ предыдущее выраженіе переписать слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{aligned} h'' - h_0'' &= \frac{(P+Q)^2 L}{3\gamma_1 D^5} \left[ 1 + \frac{Q}{P+Q} + \left( \frac{Q}{P+Q} \right)^2 \right] = \\ &= \frac{(P+Q)^2 L}{3\gamma_1 D^5} (1 + \beta + \beta^2). \quad (159 b) \end{aligned}$$

Если  $P=0$ , то  $\beta=1$ , и это равенство обращается въ уже извѣстное выраженіе для потери напора:

$$h'' - h_0'' = \frac{Q^2 L}{\gamma_1 D^5}.$$

При  $Q = 0$  оказывается  $\beta = 0$  и тогда найдемъ:

$$h'' - h_0'' = \frac{P^2 L}{3\gamma_1 D^5} \dots \dots \dots (159 c)$$

Изъ сравненія двухъ послѣднихъ выраженій видно, что если существуетъ только равномерный расходъ по пути, равный  $P$  въ начальномъ сѣченіи трубы, то потеря напора въ *три* раза *меньше*, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда тотъ же расходъ  $P$  не измѣняется по пути.

Уравн. (159 a) можно придать еще такой видъ:

$$h'' - h_0'' = \frac{Q^2 L}{\gamma_1 D^5} + \frac{P^2 L}{3\gamma_1 D^5} + \frac{(\sqrt{PQ})^2 L}{\gamma_1 D^5} \dots (159 d)$$

Это уравненіе показываетъ, что, если кромѣ постояннаго расхода  $Q$  существуетъ еще равномерный расходъ по пути  $P$ , то потеря напора въ этомъ случаѣ равна суммѣ потерь напора соответствующихъ: постоянному расходу  $Q$ , равномерному расходу по пути  $P$  и постоянному расходу  $\sqrt{PQ}$ , равному средней геометрической величинѣ изъ двухъ предыдущихъ расходовъ.

Если требуется отыскать такой постоянный расходъ  $T$ , при которомъ получалась бы въ *концѣ* трубы потеря напора одинаковая какъ и въ томъ случаѣ, когда существуетъ постоянный расходъ  $Q$  и равномерный расходъ по пути  $P$ , то  $T$  опредѣлится изъ слѣдующаго равенства:

$$h'' - h_0'' = \frac{L}{3\gamma_1 PD^5} [(P + Q)^2 - Q^2] = \frac{T^2 L}{\gamma_2 D^5},$$

гдѣ  $\gamma_1$  — соответствуетъ среднему расходу  $\frac{1}{2} (P + Q + Q) = \frac{1}{2} P + Q$ , а  $\gamma_2$  — расходу  $T$ . Для упрощенія выводовъ, примемъ  $\gamma_1 = \gamma_2$ , что не повлечетъ за собою сколько нибудь замѣтной погрѣшности; тогда получится:

$$T^2 = Q^2 + PQ + \frac{1}{3} P^2 \dots \dots \dots (160)$$

Опредѣляемое этимъ уравненіемъ  $T$  можно представить двоякимъ образомъ:

$$T = \sqrt{(Q + \sqrt{\frac{1}{3}} P)^2 - \frac{2 - \sqrt{3}}{\sqrt{3}} PQ}$$

$$T = \sqrt{(Q + \frac{1}{2}P)^2 + \frac{1}{12}P^2}.$$

Слѣдовательно  $T > Q + \frac{1}{2}P$ , въ то же время  $T < Q + P\sqrt{\frac{1}{3}} = Q + 0,577P$ , такъ что съ достаточною въ приложеніяхъ степенью приближенія можно принять согласно Дюпюи:

$$T = Q + 0,55P . . . . . (160 a)$$

Такимъ образомъ расходъ  $T$  мало разнится отъ средняго расхода равнаго  $Q + \frac{1}{2}P$ .

Определенный изъ этого выраженія постоянный расходъ  $T$  даетъ потерю одинаковую съ расходами  $Q$  и  $P$  только въ *концѣ* трубы; для промежуточныхъ же сѣченій, напр.  $M$ , это равенство потерь напоровъ не существуетъ, потому что для расхода  $T$  линія давленій—прямая, а для расходовъ  $Q$  и  $P$ —кривая  $abc$ .

Разсматриваемый случай особенно важенъ въ приложеніяхъ, такъ какъ каждая уличная водопроводная труба находится въ условіяхъ, довольно близко подходящихъ къ условіямъ этого случая. Равномѣрный расходъ  $P$  является здѣсь въ видѣ расхода черезъ многочисленныя трубы, проводящія воду въ дома, а постоянный расходъ  $Q$  есть очевидно расходъ уличныхъ трубъ, принимающихъ воду непосредственно изъ разсматриваемой трубы.

### § 53. Сложный водопроводъ съ постояннымъ діаметромъ и переменнымъ расходомъ. Потеря напора въ узлахъ. Случаи магистральной и главной водопроводной линій.

Водопроводъ съ неравномѣрнымъ движеніемъ называется *сложнымъ*. Изъ сложныхъ водопроводовъ мы рассмотримъ *четыре* главнѣйшихъ, а именно: *а)* и *б)* водопроводъ съ постояннымъ діаметромъ и переменнымъ расходомъ, причѣмъ вода изъ резервуара выпускается или на воздухъ (сложный водопроводъ съ *однимъ* резервуаромъ), или въ другой резервуаръ (сложный водопроводъ съ *двумя* резервуарами), *в)* водопроводъ въ видѣ одной трубы, состоящей изъ частей различнаго діаметра съ переменнымъ расходомъ въ каждой части (*магистральная* труба, *главная* водопроводная труба), и *г)* водопроводъ въ

видѣ сѣти трубъ, изъ которыхъ каждая состоитъ изъ частей различнаго діаметра съ переменнымъ расходомъ въ каждой части (*водопроводная сеть*).

Въ этомъ § мы рассмотримъ первый и третій случаи.

1) Пусть труба съ постояннымъ расходомъ  $Q$  и равномернымъ расходомъ по пути  $P$  имѣетъ постоянный діаметръ  $n$ , будучи снабжена на концѣ діафрагмой, выпускаетъ воду на воздухъ (черт. 179). Разсматривая линію тока  $M_0M_2$ , можемъ написать слѣдующее равенство:

$$\frac{V_2^2 - V_0^2}{2g} + \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V_1^2}{2g} + (h'' - h_0'') = H$$

Выражая скорости  $V_0$ ,  $V_1$  и  $V_2$  черезъ соответственныя значенія  $\frac{Q+P}{\Omega_0}$ ,  $\frac{Q+P}{\omega}$ ,  $\frac{Q}{\alpha 0}$  и замѣняя  $(h'' - h_0'')$  величиной, опредѣляемой уравн. (159 б), представимъ предыдущее равенство въ такомъ окончательномъ видѣ:

$$\frac{(Q+P)^2}{2g} \left\{ \underbrace{\left( \frac{\beta}{\alpha 0} \right)^2}_{(1)} - \underbrace{\frac{1}{\Omega_0^2}}_{(2)} + \underbrace{\left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right)}_{(3)} \frac{1}{\omega^2} + \underbrace{\frac{2g L}{3\gamma_1 D^5} (1 + \beta + \beta^3)}_{(4)} \right\} = H \dots (161)$$

Въ частныхъ случаяхъ это выраженіе упрощается; напр., когда поперечное сѣченіе резервуара весьма значительно, то  $V_0$  мало и членомъ (2) можно пренебречь; когда, кромѣ того, діафрагмы нѣтъ и длина трубы велика сравнительно съ діаметромъ, то члены (1) и (3) можно отбросить безъ замѣтной погрѣшности, въ особенности, если скорости не очень большія, и тогда предыдущее уравненіе принимаетъ простѣйшій видъ:

$$\frac{(Q+P)^2 L}{3\gamma_1 D^5} (1 + \beta + \beta^3) = H \dots (161 a)$$

Если сравнить это выраженіе съ уравн. (159 б), то оказывается, что весь напоръ  $H$  въ разсматриваемомъ случаѣ теряется на гидравлическія сопротивленія отъ тренія въ трубѣ; за  $L$  здѣсь слѣдуетъ принимать полную длину трубы.

Уравненія (161) и (161 а) служатъ для опредѣленія одной изъ

величинъ:  $H$ ,  $D$ ,  $Q$  и  $P$  по заданнымъ остальнымъ величинамъ; эти опредѣленія производятся подобнымъ-же образомъ, какъ и въ случаѣ простаго водопровода (стр. 295).

Для вычисленія гидравлическаго давленія  $p$  въ какой-либо точкѣ  $M$  слѣдуетъ разсматривать линію тока  $M_0M$ ; для нея получится:

$$\frac{V^2 - V_0^2}{2g} + \left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \frac{V_1^2}{2g} + (h'' - h_0'') = \left(z_0 + \frac{p_0}{\Delta}\right) - \left(z + \frac{p}{\Delta}\right) = y \cdot \frac{p_0 - p}{\Delta}.$$

Замѣняя  $V_0$ ,  $V_1$  и  $V$  соответственными значеніями  $\frac{Q+P}{\Omega_0}$ ,  $\frac{Q+P}{\omega}$  и  $\frac{S}{\omega}$  и подставляя вмѣсто  $(h'' - h_0'')$  его значеніе изъ уравн. (159), дадимъ предыдущему выраженію такой видъ:

$$\frac{p - p_0}{\Delta} = y + \frac{(P+Q)^2}{2g} \left\{ \frac{1}{\Omega_0^2} - \left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \frac{1}{\omega^2} \right\} - \frac{S^2}{2g\omega^2} - \frac{(P+Q)^3 L}{3\gamma_1 F D^6} \left\{ 1 - \frac{S^2}{(P+Q)^2} \right\} \dots (162)$$

Отсюда прямо опредѣляется высота свободнаго напора по заданному расходу  $S$ ; если же задано  $l$ , то сперва вычисляется  $S$  по формулѣ  $S = Q + \frac{P}{L} (L - l)$ , и затѣмъ уже находятъ  $\frac{p - p_0}{\Delta}$ . Если опредѣленные такимъ путемъ высоты откладывать отъ точекъ  $M$  по вертикали вверхъ, то точки подобныя  $m$  будутъ лежать на нѣкоторой кривой. Съ цѣлью изслѣдованія этой кривой представимъ предыдущее уравненіе въ такой формѣ:

$$\frac{p - p_0}{\Delta} = y - (a + bS^2 - cS^3) \dots (162 a)$$

гдѣ  $a$ ,  $b$  и  $c$  величины независящія отъ  $S$ . Для нахождения точки  $m$  можно также отложить отъ точки  $n$  по вертикали внизъ отръзокъ  $mn = u = a + bS^2 - cS^3$ . При значительной длинѣ  $l$  можно въ обыкновенныхъ случаяхъ полагать  $l = Kn$ . Тогда, принимая  $KF$  и

$KG$  за координатныя оси, получимъ уравненіе разсматриваемой кривой, отнесенной къ этимъ осямъ:

$$u = a + bS^2 - cS^3 = f(l) \dots \dots (162b)$$

Отсюда видно, что разсматриваемая кривая—*третьяго* порядка. Для изслѣдованія вида кривой отложимъ  $KK' = a$  и перенесемъ начало координатъ въ точку  $K'$ , тогда предыдущее уравненіе получится въ такомъ видѣ:

$$u' = u - a = bS^2 - cS^3 \dots \dots (162c)$$

Очевидно  $u' = 0$ , т. е. кривая пересѣкаетъ ось  $K'F'$ , при значеніяхъ  $S = \frac{b}{c}$  и  $S = 0$ ; величины  $l$ , соответствующія этимъ значеніямъ  $S$  и равныя  $l_1$  и  $l_2$ , опредѣляются изъ слѣдующихъ равенствъ:

$$\text{Если } S = \frac{b}{c} \quad \text{то} \quad \frac{l_1}{L} = \frac{P+Q}{P} - \frac{24\gamma_1 D}{g\pi^2 L} - \frac{1}{1-\beta} - \varepsilon$$

$$\text{„ } S = 0 \quad \text{„} \quad \frac{l_2}{L} = \frac{P+Q}{P} = \frac{1}{1-\beta} > 1.$$

Кривая имѣетъ *minimum* при  $S = 0$ , т. е. въ точкѣ  $d$ , и *maximum* при  $S = \frac{\gamma_1 PD^3}{g\omega^2 L}$ , т. е. въ точкѣ  $e$ ; этому значенію  $S$  соответствуетъ  $l_3$ , опредѣляемое изъ уравненія

$$\frac{l_3}{L} = \frac{1}{1-\beta} - \frac{2}{3}\varepsilon.$$

Не трудно убѣдиться, что въ  $d$  кривая имѣетъ *точку перегиба*. Итакъ, для линій тока  $M_1M''$  кривая давленій представится линіей  $r'i$ , а для  $M''M_2$  приблизительно прямой  $iM_2$ ; что же касается  $M_1M_2$ , то линію давленій для нея можно изобразить приблизительно кривой  $Er'$ , точка  $r$  которой опредѣляется такъ же какъ и въ случаѣ простаго водопровода. Такимъ образомъ, получается кривая давленія  $M_1Er'r'iM_2$ .

Въ частномъ случаѣ, когда  $L$  довольно велико сравнительно съ  $D$ , въ уравн. (162c) членомъ  $bS^2$  можно пренебречь; тогда полу-

чится:  $w = cS^3$ ; кривая 3-го порядка, изображаемая этимъ уравненіемъ, есть линия  $tgd$ , она пересѣкаетъ ось  $K'F'$  въ т.  $d$ , которая въ тоже время есть *точка перегиба*. Линія давленій представляется здѣсь линіей  $FtgM_2$ .

2) Въ городскихъ водопроводахъ всегда встрѣчается выше разсмотрѣнный случай постоянного расхода  $Q$  и расхода по пути  $P$ . Въ этихъ сооруженіяхъ вода изъ резервуара  $A$  (черт. 180) проводится въ городъ такъ назыв. *магистральною* линією  $ABC$ ; она питаетъ *главныя* водопроводныя линіи  $BD$ ,  $EF$ ,  $EG$ ..., *уличныя* трубы, непосредственно къ ней примыкающія, и *домовыя* трубы. Последнія питаются непосредственно изъ магистралы только тогда, когда діаметръ последней не очень великъ, напр., не больше 18 дюймовъ; въ противномъ случаѣ рядомъ съ магистралію идетъ обыкновенная уличная труба, которая и питаетъ домовыя. Главныя водопроводныя линіи въ свою очередь питаютъ уличныя трубы, а равно и домовыя непосредственно къ линіямъ примыкающія. Домовыя трубы вызываютъ расходъ по пути.

Уличныя трубы отнимаютъ заразъ все количество воды для нихъ необходимое, а потому значительно уменьшаютъ расходъ въ *узлахъ* линіи, т. е. въ точкахъ соединенія уличныхъ трубъ съ линіей. Поэтому въ узлахъ очень часто діаметръ линіи измѣняется, уменьшаясь по направленію движенія; въ этомъ случаѣ въ узлѣ располагаютъ коническое звено  $AB$  (черт. 181), концы котораго имѣютъ діаметры  $D_0$  и  $D_1$  равные діаметрамъ смежныхъ трубъ; уличныя трубы примыкаютъ обыкновенно къ звену смежному съ коническимъ, какъ это показано на чертежѣ. Прослѣдимъ измѣненіе гидравл. давленія на пути  $MM_2$ . Между точками  $M$  и  $M_1$  происходитъ отдѣленіе въ боковой отростокъ части расхода  $Q$ ; оно сопровождается образованіемъ въ точкѣ  $a$  водоворотовъ и слѣдов. и потерей напора, но такъ какъ въ тоже время скорость уменьшается, то давленіе соотвѣтственно увеличивается, а потому большею частью принимаютъ, что между точками  $M$  и  $M_1$  происходитъ только обычная потеря отъ тренія; на пути  $M_1M_2$ , очевидно, является подобная же потеря.

Чтобы опредѣлить измѣненіе давленія въ водопроводной линіи въ томъ мѣстѣ, гдѣ отъ нея отдѣляется боковая вѣтвь, французскій ученый *Добюссонъ* (1769—1841) произвелъ нѣсколько опытовъ надъ трубой діаметромъ 80 милим. съ боковымъ отросткомъ, снабженнымъ

краюмъ. Давленія опредѣлялись двумя пьезометрами, поставленными на трубѣ выше и ниже (по теченію) отъ отростка, въ разстояніи 0,5 метр., соответственно 0,7 метр.; при этомъ замѣтной потери не обнаружилось \*).

Что же касается конической части  $M_2M_3$ , то здѣсь, кромѣ потери напора отъ тренія, давленіе уменьшается еще отъ увеличенія скорости. Линія давленія для  $MM_3$  изобразится линіей  $bade$ ; потери напора  $cc'$  и  $ee'$  легко опредѣляются по расходу  $Q_1$  и діаметрамъ  $D_0$  и  $D_1$ ; потеря же напора  $dd' = h$  для коническаго звена найдется по уравн. Д. Бернулли:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + (h'' - h_0'') = \left(z_0 + \frac{p_0}{\Delta}\right) - \left(z_1 + \frac{p_1}{\Delta}\right) = h.$$

Но обозначая  $\varphi = \frac{D_0}{D_1}$ , можемъ написать по форм. (158 а):

$$h'' - h_0'' = \frac{Q_1^2 l \varphi}{4\gamma_1 D_0^5} \frac{\varphi^4 - 1}{\varphi - 1} \quad \text{и также} \quad \frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} = \frac{8Q_1^2 (\varphi^4 - 1)}{g\pi^2 D_0^4}$$

тогда предыдущее равенство перепишется въ такомъ видѣ:

$$h = \frac{Q_1^2}{\gamma_1 D_0^5} \left\{ \frac{l\varphi}{4} \frac{\varphi^4 - 1}{\varphi - 1} + \frac{8\gamma_1 D_0 (\varphi^4 - 1)}{g\pi^2} \right\} \dots (163)$$

По этой формулѣ можно въ каждомъ частномъ случаѣ опредѣлить потерю напора, проявляющуюся въ коническомъ звенѣ отъ тренія и отъ измѣненія скорости  $V_0$  на  $V_1$ .

Принимая, напр. для большихъ діаметровъ  $\varphi = 1,1$  и  $\gamma_1 = 1500$ , а для малыхъ  $\varphi = 1,25$  и  $\gamma_1 = 1300$  \*), найдемъ, что количество заключенное въ большихъ скобкахъ измѣняется приблизительно въ предѣлахъ отъ  $1,16 l + 17,5 D_0$  до  $1,8 l + 47 D_0$ . Такъ какъ при обыкновенныхъ условіяхъ потеря напора въ трубѣ  $D_0$  длиною  $l$  и

\*) *D'Aubuisson de Voisins. Traité d'hydraulique, 2-me éd. Paris. 1840. p. 258.*

\*\*\*) Эти значенія  $\gamma_1$  вычислены по форм. (150) при коэффициентѣ  $k = 1,5$  и при скорости 2,5 фут.

съ расходомъ  $Q_1$  равна  $\frac{Q_1^2 l}{\gamma_1 D_0^5}$ , то слѣдоват. существованіе конического звена какъ-бы увеличиваетъ длину  $l$  на величину  $\lambda$ , заключающуюся въ предѣлахъ отъ  $0,16 l + 17,5 D_0$  до  $0,8 l + 47 D_0$ ; подставляя сюда  $l = 5$  фут. и  $D_0 = 1$  фут. и  $0,5$  фут., получимъ  $\lambda = 18,3$  ф. до  $27,5$  ф. или въ среднемъ  $\lambda = 23$  ф.; такъ что только при большомъ числѣ узловъ на линіи увеличеніе потери напора можетъ сдѣлаться замѣтнымъ; въ обыкновенныхъ же случаяхъ водопроводной практики часто можно имъ пренебрегать.

При переходѣ воды въ боковую линію на пути  $MM'$  проявляется потеря напора  $h'$ ; она происходитъ отъ измѣненія скорости  $V$  въ  $v$ , отъ отклоненія направленія движенія и отъ сжатія струи въ  $mn$ . Изъ давнихъ опытовъ *Малле* и *Женьеса* надъ трубой діаметра 250 миллим. и отросткомъ 81 миллим., при скоростяхъ 0,85 м. и 1 м., потеря напора  $h'$ , опредѣленная помощью пьезометровъ въ  $M$  и  $M'$ , оказалась приблизительно равной  $\frac{3v^2}{2g}$ , такъ что \*)

$$\frac{v^2 - V^2}{2g} + (h'' - h_0'') = h' = \frac{3v^2}{2g} \dots (163 a)$$

Эта потеря также незначительна, и въ практическихъ случаяхъ часто можно ею пренебрегать.

3) Разсмотримъ теперь водопроводъ съ переменнымъ расходомъ, состоящій изъ трубъ, діаметры которыхъ уменьшаются по направленію движенія, причемъ трубы разныхъ діаметровъ соединены коническими звеньями (черт. 182). Подобный случай представляютъ всѣ водопроводныя линіи, питающія уличныя трубы и непосредственно къ нимъ примыкающія домовыя. Пусть для какой либо трубы  $L_i$ ,  $D_i$ ,  $V_i$ ,  $Q_i$ ,  $P_i$ ,  $Q_i$  и  $\beta_i = \frac{Q_i}{P_i + Q_i}$  представляютъ длину, діаметръ, скорость въ концѣ трубы, расходы въ началѣ и концѣ трубы и

\*) *D'Aubuisson de Voisins*. Traité d'hydraulique, p. 256. *Брессъ и Рюльманъ*, не смотря на такой прямой результатъ опыта, даютъ слѣдующее выраженіе для  $h'$ :

$$h' = \frac{3v^2}{2g} - \frac{V^2}{2g}$$

отношение этих расходов; тогда потеря напора для этой трубы ( $h'' - h_0''$ ); по форм. (159 б) равна

$$(h'' - h_0'')_i = \frac{(P_i + Q_i)^2 L_i}{3\gamma_i D_i^5} (1 + \beta_i + \beta_i^2)$$

а потеря напора  $h_i$  для конического звена по форм. (163) равна:

$$h_i = \frac{Q_i^2}{\gamma_i D_i^5} \left\{ \frac{l_i \varphi_i \varphi_i^4 - 1}{4 \varphi_i - 1} + \frac{8\gamma_i D_i (\varphi_i^4 - 1)}{g\pi^2} \right\}$$

Примѣняя формулу Д. Бернулли къ линіи тока  $M_0M$  и полагая, что водопроводъ состоитъ изъ  $n$  трубъ и имѣетъ на концѣ діафрагму, получимъ:

$$\frac{V^2 - V_0^2}{2g} + \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V_1'^2}{2g} + \sum_{i=1}^{i=n} (h'' - h_0'')_i + \sum_{i=1}^{i=n-1} h_i = H \dots (164)$$

Выражая  $V$ ,  $V_1'$  и  $V$  черезъ соотвѣтственные расходы, найдемъ выраженіе дающее зависимость между  $H$ , діаметрами и расходами; оно будетъ аналогично уравн. (161).

Гидравлическое давленіе въ какой либо точкѣ  $M'$  лежащей на  $m$ -ой трубѣ найдемъ, рассматривая линію тока  $M.M'$ ; если расходъ въ  $M'$  назвать черезъ  $S$ , то, руководствуясь форм. (159 и 164), получимъ:

$$\frac{V_m^2 - V_0^2}{2g} + \left( \frac{1}{\mu^2} - 1 \right) \frac{V_1'^2}{2g} + \sum_{i=1}^{i=m-1} (h'' - h_0'')_i + \sum_{i=1}^{i=m-1} h_i + \frac{(P_m + Q_m)^2 L_m}{3\gamma_m P_m D_m^5} \left\{ 1 - \left( \frac{S}{P_m + Q_m} \right)^2 \right\} = y - \frac{p - p_0}{\Delta}.$$

Замѣняя  $V_m$  черезъ  $\frac{4S}{\pi D_m^2}$  и обозначая для краткости черезъ  $a$  члены не зависящіе отъ  $S$ , перепишемъ это равенство въ такомъ видѣ:

$$\frac{p - p_0}{\Delta} = y - a - \frac{1}{2g} \left( \frac{4S}{\pi D_m^2} \right)^2 + \frac{S^2 L_m}{3\gamma_m F_m D_m^5} = y - (a + bS^2 - cS^4) (164a)$$

Это уравнение аналогично уравн. (162 а). Примемъ  $KF$  и  $KG$  за координатныя оси, тогда уравнение линіи давленій для  $m$ -ой трубы относительно этихъ осей будетъ

$$n = a + \delta S^2 - c S^3 \dots \dots \dots (164 \delta)$$

Это уравнение изображаетъ кривую 3-го порядка, которую мы уже изслѣдовали (стр. 320). Прилагая подобныя рассужденія и къ другимъ трубамъ, увидимъ, что линія давленій  $Erv'qq'fM$  для всего водопровода состоитъ изъ  $n$  линій 3-го порядка, ( $n - 1$ ) кривыхъ  $qq'$ , двухъ прямыхъ  $rv'$  и  $fM$  и одной кривой  $E\tau$ .

Если въ какой либо трубѣ или части ея расхода по пути нѣтъ, то соотвѣтственная кривая давленій обращается въ *прямую*. Такъ, напр., въ началѣ магистрали обыкновенно расхода по пути нѣтъ, и для этой части ея линія давленій—прямая.

При этомъ разсмотрѣніи предполагалось, что водопроводъ мѣняетъ діаметръ вслѣдъ за отдѣленіемъ отъ него каждой уличной трубы; въ дѣйствительности это не всегда бываетъ, и уличная труба можетъ отдѣляться, напр., въ точкѣ  $e$ ; въ этомъ случаѣ линія давленій  $q's'$  состоитъ изъ двухъ кривыхъ  $q's$  и  $ss'$ .

Если на концѣ трубы нѣтъ діафрагмы, то всѣ расходы увеличатся, линія давленій понизится и приметъ положеніе, показанное на чертежѣ пунктиромъ. Въ случаѣ существованія въ водопроводѣ мѣстныхъ сопротивленій, вслѣдствіе напр. угловъ, закругленій, діафрагмъ, задвижекъ и т. п., можно, руководствуясь изложеннымъ въ 3 пунктѣ § 51, ввести въ расчетъ эти сопротивленія и построить видоизмѣненную линію давленій.

Все вышешложенное непосредственно примѣняется къ расчету магистральной линіи. Въ случаѣ главной водопроводной линіи роль резервуара играетъ магистраль (черт. 183) и уравн. (164, 164а и б) остаются справедливыми; только въ нихъ потерю напора при входѣ въ трубу равную  $\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \frac{V_1^2}{2g}$  слѣдуетъ замѣнить, согласно уравн.

(163а), количествомъ  $\frac{3 V_1^2}{2g}$ , а давленіе  $p_0$  на поверхности резервуара—

давленіемъ  $P$  въ узлѣ магистрали;  $V_0$  и  $z_0$  будутъ обозначать въ этомъ случаѣ скорость и ординату для узла магистрали, а  $H$  представитъ

возвышеніе пьезометрическаго уровня въ магистралаи надъ центромъ выходнаго отверстія; такъ что уравн. (164) приметъ видъ:

$$\frac{V^2 - V_0^2}{2g} + \frac{3V_1^2}{2g} + \sum_{i=1}^{i=n} (h'' - h''_0)_i + \sum_{i=1}^{i=n-1} h'_i = \\ = \left( z_0 + \frac{P}{\Delta} \right) - \left( z + \frac{P_0}{\Delta} \right) = H \dots \dots (164c)$$

§ 54. Сложный водопроводъ съ двумя резервуарами. Случай трубы питающейся съ обоихъ концовъ.

Въ § 51 былъ рассмотрѣнъ случай трубы, соединяющей два резервуара, при чемъ расходъ этой трубы  $Q$  былъ постояненъ по всей ея длинѣ. Изслѣдуемъ тотъ же случай въ предположеніи, что кромѣ постояннаго расхода  $Q$  существуетъ еще расходъ по пути  $P = pL$  и съ этою цѣлью рассмотримъ линію тока  $M_0 M_1$  (черт. 184); тогда по формулѣ Д. Бернулли, согласно обозначеніямъ показаннымъ на чертежѣ, получимъ:

$$\frac{V_1^2 - V_0^2}{2g} + B + \frac{L}{3\gamma PD^5} \left( (P + Q)^2 - Q^2 \right) = H$$

гдѣ  $B$  представляетъ сумму всѣхъ мѣстныхъ сопротивленій.

Если 1-мъ и 2-мъ членами этого уравненія можно пренебречь вслѣдствіе ихъ малости сравнительно съ 3-мъ членомъ, что мы и будемъ предполагать въ послѣдующемъ изложеніи, то послѣ приведенія получится:

$$\frac{L}{\gamma D^5} \left( \frac{1}{3} P^2 + PQ + Q^2 \right) = H \dots \dots (165)$$

а) При помощи этого уравненія изслѣдуемъ значенія  $Q$ .

Если  $L$ ,  $D$ ,  $H$  и  $P$  заданы, то изъ этого равенства опредѣлится постоянный расходъ  $Q$ , т. е. количество, которое переходить изъ верхняго резервуара въ нижній, именно:

$$Q = -\frac{1}{2}P \pm \sqrt{\frac{\gamma D^5 H}{L} - \frac{1}{12}P^2}$$

Очевидно задача сохраняет свой первоначальный смысл, пока  $Q \geq 0$ ; если передь радикаломъ удерживать знакъ  $+$ , то это условіе удовлетворяется, когда

$$P \equiv \sqrt{\frac{3\gamma D^3 H}{L}}$$

Если черезъ  $R$  обозначить постоянный расходъ соответствующій даннымъ  $D$ ,  $L$  и  $H$ , то по форм. (152с) определяемъ

$$R = \sqrt{\frac{\gamma D^3 H}{L}}$$

слѣдовательно предыдущее неравенство можно написать еще такъ:  $P \equiv R\sqrt{3}$ . При  $P > R\sqrt{3}$ , но  $\leq 2R\sqrt{3}$  постоянный расходъ  $Q < 0$ . Когда  $P > 2R\sqrt{3}$ , то  $Q$  получается мнимымъ.

Къ этимъ результатамъ можно прийти еще слѣдующимъ путемъ. Если положить  $P = x$ ,  $Q = y$ , то уравн. (165) можно представить еще въ такомъ видѣ:

$$\frac{1}{3} x^2 + xy + y^2 = R^2$$

Это—уравненіе эллипса, отнесенное къ осямъ  $X$  и  $Y$  (черт. 185), проходящимъ черезъ центръ его  $O$ ; полуоси его равны:

$$Oa = R\sqrt{\frac{6}{4 + \sqrt{13}}} = 0,89 R; \quad Ob = R\sqrt{\frac{6}{4 - \sqrt{13}}} = 3,90 R.$$

Изъ нихъ первая составляетъ съ  $X$  уголъ  $\alpha$ , определяемый равенствомъ  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{3} (2 + \sqrt{13})$ .

Какому-нибудь значенію  $P$  въ предѣлахъ отъ нуля до  $Od = R\sqrt{3}$ , на примѣръ равному  $Oe$ , соответствуютъ два значенія  $Q$ : положительное  $ce$  и отрицательное  $cf$ ; при  $P = Od = R\sqrt{3}$  положительное значеніе  $Q$  равно нулю, а отрицательное равно  $dk = R\sqrt{3}$ ; при  $P > Od$  но  $< Ob$  оба значенія  $Q$  отрицательны; при  $P = Ob = 2R\sqrt{3}$  получается одно только значеніе  $Q$ —отрицательное, равное  $R\sqrt{3}$  при

$P > 0$  значения  $Q$  — минимы. Следовательно расходъ на концы трубы возможенъ только при расходѣ на пути  $P$  непревосходящемъ  $R\sqrt{3}$ , т. е. величина въполнѣ опредѣленной при заданныхъ  $D$ ,  $L$  и  $H$ .

б) Разсмотримъ теперь подробнѣе случай отрицательнаго значения  $Q$ .

Когда скоро  $P$  превосходить предѣлъ  $R\sqrt{3}$ , то  $Q$  дѣлается отрицательнымъ и задача измѣняетъ смыслъ. Для уясненія новаго смысла будемъ — подобно тому, какъ это было сдѣлано во 2-мъ пунктѣ § 52-го — изображать графически измѣненіе расхода  $S$  въ какомъ-либо поперечномъ сѣченіи; тогда найдемъ, что это измѣненіе можетъ быть представлено троякимъ образомъ, именно посредствомъ линий  $ab$ ,  $Aa$  и  $ae$  (черт. 186), гдѣ  $OA=L$ . Въ первомъ случаѣ расходъ въ начальномъ сѣченіи трубы равенъ  $aO = fO + af = Q + P$  а въ конечномъ сѣченіи равенъ  $Ab = Q$ ; очевидно  $Q > 0$  и количество воды въ нижнемъ резервуарѣ увеличивается; во второмъ случаѣ расходъ въ начальномъ сѣченіи равенъ  $aO = P$  и въ конечномъ равенъ 0; здѣсь  $Q = 0$  и нижній резервуаръ ничего не получаетъ: въ обояхъ этихъ случаяхъ расходъ  $S$  убываетъ отъ начала къ концу трубы не переходя за 0; наконецъ въ послѣднемъ случаѣ расходъ также убываетъ, въ точкѣ  $B$  онъ равенъ 0 и далѣе онъ становится отрицательнымъ; это указываетъ на то, что направленіе движенія въ части  $BA = \lambda'$  противоположно направленію движенія въ части  $OB = \lambda$ , т. е. происходитъ отъ  $A$  къ  $B$ . Такимъ образомъ въ части  $\lambda$  расходъ по пути  $aO = p\lambda = P_1$ , а въ части  $\lambda'$  равенъ  $Ae = p\lambda' = P_2$ , и очевидно, что первая часть трубы питается изъ верхняго резервуара а вторая — изъ нижняго; на этомъ основаніи точка  $B$  называется *точкой раздѣла питанія*. Этотъ случай соответствуетъ  $Q < 0$ ; при этомъ вода въ нижнемъ резервуарѣ убываетъ. Формула (165) замѣняется теперь двумя другими, которыя согласно уравн. (159с) будутъ имѣть такой видъ (черт. 184)

$$\frac{P_1^2 \lambda}{3\gamma D^5} = \frac{P^2 \lambda^3}{3\gamma D^5} = h \qquad \frac{P_2^2 \lambda'}{3\gamma D^5} = \frac{P^2 \lambda'^3}{3\gamma D^5} = h - H \dots (166)$$

Первая формула показываетъ, что на длинѣ трубы  $\lambda$  существуетъ расходъ по пути  $P_1$ , вызывающій на концы потерю напора  $h$ , а вторая — что на длинѣ  $\lambda'$  расходъ по пути  $P_2$  вызываетъ въ концы по-

теру напора  $h - H$ . При помощи равенства  $\lambda + \lambda' = L$  и обозначая  $\frac{\lambda}{L} = y$  и  $pL = P$ , найдемъ изъ уравн. (166):

$$H = \frac{P^2}{3\gamma D^5} (\lambda^3 - \lambda'^3) = \frac{P^2 L}{3\gamma D^5} (2y^3 - 3y^2 + 3y - 1);$$

откуда:

$$2y^3 - 3y^2 + 3y - 1 = \frac{3\gamma D^5 H}{P^2 L}.$$

Это кубическое уравненіе имѣетъ одинъ вещественный корень, а именно:

$$y = \frac{1}{2} + \sqrt[3]{-s + \sqrt{s^2 + \frac{1}{64}}} + \sqrt[3]{-s - \sqrt{s^2 + \frac{1}{64}}}. \quad (167)$$

гдѣ, для краткости, положено  $s = -\frac{3}{4} \frac{\gamma D^5 H}{P^2 L}$ .

Отсюда видно, что такъ какъ вообще  $s < 0$ , то  $y > \frac{1}{2}$ , т. е.  $\lambda > \frac{1}{2} L$ ; въ частномъ случаѣ можетъ быть  $y = \frac{1}{2}$  или  $\lambda = \frac{1}{2} L$  при значеніи  $s = 0$ , что получается или при  $P = \infty$  или при  $H = 0$ , т. е. когда уровни въ обоихъ резервуарахъ лежатъ въ одной горизонтальной плоскости. При измѣненіи  $s$  отъ 0 до  $-\frac{1}{4}$ , т. е. при значеніяхъ

$P$  между  $\infty$  и  $\sqrt{\frac{3\gamma D^5 H}{L}}$  величина  $\lambda$  измѣняется отъ  $\frac{1}{2} L$  до  $L$ ;

при  $s < -\frac{1}{4}$  или, другими словами, при  $P < \sqrt{\frac{3\gamma D^5 H}{L}}$  значеніе  $\lambda$  становится больше  $L$ . Такимъ образомъ оказывается, что точка раздѣла перемѣщается отъ середины трубы въ сторону нижняго резервуара по мѣрѣ того, какъ высота  $H$  увеличивается отъ 0, или расходъ по пути  $P$  (или, что все равно, расходъ на единичную длину  $p = \frac{P}{L}$ ) уменьшается начиная съ  $\infty$ .

По извѣстному  $\lambda$  опредѣляются  $P_1$  и  $P_2$ —расходы изъ верхняго и нижняго резервуаровъ, а по форм. (166) находится величина  $h$ .

в) Переходимъ къ разсмотрѣнію кривой давленія при различныхъ значеніяхъ  $Q$ .

Въ зависимости отъ того, будетъ-ли  $Q$  положительно или нуль, кривая давленія будетъ имѣть положеніе  $EFG''$  или  $EG'E$ , причѣмъ касательныя въ точкахъ  $G''$  и  $F'$  будутъ горизонтальны. Для опредѣленія этихъ кривыхъ давленія будемъ откладывать отъ точки  $C$  внизъ соответственно отрѣзки  $CD$ ,  $CD'$  равные потери напора на длинѣ трубы  $OM = l$ , вычисляя ихъ по форм. (159). Если труба питается съ обѣихъ концовъ, то линія давленій представляется двумя кривыми  $ED''G$  и  $GK'F$ . Для построенія ихъ надо вычислить какой либо отрѣзокъ  $CD''$  — для первой, и  $KK'$  — для второй линіи; для чего слѣдуетъ пользоваться форм. (159), полагая въ ней  $Q = 0$  и сверхъ того  $P = P_1 = \rho k$  и  $L = \lambda$  — для первой линіи, и  $P = P_2 = \rho k'$  и  $L = \lambda'$  — для второй. Линіи  $EGN$  и  $F'GN'$  имѣютъ въ  $G$  общую точку перегиба и общую горизонтальную касательную\*).

Изъ вышеизложеннаго видно, что положеніе кривой давленія при данныхъ  $D$ ,  $L$  и  $H$  обусловливается величиной  $p$ ; при соответствено маломъ  $p$  кривая изображается линіей  $EDG''$  и вода въ нижнемъ резервуарѣ прибываетъ; при большемъ  $p$  эта кривая принимаетъ видъ  $EG'E$ , труба питается съ обѣихъ концовъ и вода въ нижнемъ резервуарѣ убываетъ.

До сихъ поръ мы разсматривали  $P$  (или  $p$ ) и  $D$  какъ извѣстныя величины и по нимъ опредѣляли  $\lambda$  и  $h$ . Если будутъ заданы  $h$  и  $D$  и требуется найти  $\lambda$  и  $p$ , то изъ уравн. (166) получимъ:

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\lambda}{L - \lambda} = \sqrt[3]{\frac{h}{h - H}} \dots \dots (167 a)$$

\*) Уравненіе линіи  $EGN$  согласно вышеизложенному (уравн. 158) будетъ:

$$CD'' = y = \frac{P_1^2 \lambda}{3\gamma D^5} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{l}{\lambda} \right)^3 \right].$$

Отсюда находимъ:

$$\frac{dy}{dl} = y' = \frac{P_1^2}{\gamma D^5} \left( 1 - \frac{l}{\lambda} \right)^2 \quad \text{и также} \quad \frac{d^2y}{dl^2} = y'' = - \frac{2P_1^2}{\gamma D^5 \lambda} \left( 1 - \frac{l}{\lambda} \right).$$

Изъ этихъ выраженій видимъ, что  $y$  съ увеличеніемъ  $l$  все возрастаетъ ( $y' > 0$ ), и разсматриваемая кривая обращена къ оси абсциссъ въ части  $EG$  вогнутостью ( $l < \lambda$  и  $y'' < 0$ ), а въ части  $GN$  — выпуклостью ( $l > \lambda$  и  $y'' > 0$ ). Точно также можно изслѣдовать кривую  $EGN'$ .

отсюда найдем  $\lambda$ . Единичный расход на пути  $p$  вычислимъ затѣмъ по одному изъ уравн. (166). Когда нужно вычислить  $\lambda$  и  $D$  по заданнымъ  $h$  и  $p$ , или  $P$ , то изъ тѣхъ же уравненій выводимъ:

$$\lambda + \lambda' = L = \left( \sqrt[3]{h} + \sqrt[3]{h} - H \right) \sqrt[3]{\frac{3\gamma D^5}{P^2}}.$$

Слѣдовательно:

$$D^5 = \frac{p^2 L^3}{3\gamma} \cdot \frac{1}{\left( \sqrt[3]{h} + \sqrt[3]{h} - H \right)^3}.$$

Тогда по одному изъ уравн. (166) легко вычислить  $\lambda$ .

г) Случай трубы, соединяющей два резервуара, встрѣчается въ водопроводахъ постоянно; такъ всякая уличная труба, примыкающая концами къ главнымъ водопроводнымъ линиямъ, находится въ условіяхъ трубы соединяющей два резервуара; при этомъ уровнямъ воды въ резервуарахъ соответствуютъ уровни свободныхъ напоровъ въ главныхъ водопроводныхъ линияхъ. Въ зависимости отъ расхода по пути, отъ экстремальнаго расхода въ какомъ либо пунктѣ вблизи разсматриваемой уличной трубы (случай пожара) и т. п. обстоятельство эта труба можетъ или питаться съ обѣихъ концовъ отъ главныхъ водопроводныхъ линій (черт. 184, кривая давленія —  $EGF$ ), или же по этой трубѣ часть расхода можетъ переходить отъ одной главной линіи къ другой (кривая давленія  $EDG''$ ).

Въ водопроводахъ также встрѣчается случай аналогичный выше-разсмотрѣнному тогда, когда снабжаемый водою городъ  $BC$  (чер. 187) лежитъ на покатости, имѣющей склонъ къ источнику водоснабженія  $A$  — рѣкѣ, ключамъ и т. п.; въ этомъ случаѣ водонапорная башня или резервуаръ часто располагаются въ какой либо точкѣ  $D$  въ противоположной сторонѣ отъ города, и вода изъ источника  $A$  паровыми машинами нагнетается по трубѣ  $ABCD$  въ башню  $D$ . Въ чертѣ города эта труба играетъ роль магистрали, а именно: она питаетъ главныя водопроводныя линіи  $Ea$ ,  $Eb$ ,  $Fc$  и  $Fd$ , затѣмъ уличныя трубы  $тл$ ,  $тр$ ... для тѣхъ улицъ, мимо которыхъ она проходитъ, и наконецъ — домовыя трубы — домовъ тѣхъ улицъ, вдоль которыхъ она проложена. Въ почные часы, когда расходъ въ городѣ сравнительно невеликъ, количество воды нагнетаемое въ трубу  $AD$  не

только покрываетъ все требованіе въ городѣ, но, сверхъ того, часть воды поступаетъ въ башню. Когда наконецъ бакъ въ башнѣ будетъ совершенно наполненъ, то дальнѣйшее нагнетаніе воды по трубѣ  $AD$  прекращается, и тогда вся сѣть будетъ снабжаться водою изъ башни трубою  $DCB$ . При увеличеніи расхода въ городѣ нагнетаніе воды по трубѣ  $AD$  должно быть возобновлено. Тогда съ возрастаніемъ расхода количество воды, поступающей въ башню, все уменьшается, и въ часы усиленнаго расхода въ городѣ (обыкновенно отъ 8 часовъ утра до 4 часовъ дня) не только вода въ бакѣ не прибываетъ, но наоборотъ она изъ бака по трубѣ  $DC$  поступаетъ въ городскую сѣть. Такимъ образомъ въ эти часы труба  $AD$  питается съ обоихъ концовъ, и городская сѣть получаетъ воду частью непосредственно отъ машинъ по трубѣ  $AB$ , частью изъ бака по трубѣ  $DC$ , тогда какъ въ другое время сѣть получаетъ воду или непосредственно отъ машинъ или изъ башни. Въ случаѣ питанія трубы  $AD$  съ обоихъ концовъ, очевидно, въ частяхъ  $AB$  и  $CD$  нѣтъ расхода по пути, а только постоянные расходы; въ части же  $BC$  существуетъ расходъ по пути и сверхъ того постоянный расходъ, различный въ различныхъ участкахъ трубы  $BC$ .

Разумѣется, что можно было бы по трубѣ  $AD$  только нагнетать воду въ башню, а сѣть питать исключительно изъ бака особо проведенною магистралію, но, очевидно, такое устройство стоило бы дороже вышеописаннаго.

### § 55. *Расчетъ нагнетательной трубы при водопроводахъ въ случаяхъ равномерной и неравномерной работы машинъ.*

Вода изъ источника (рѣки, озера, ключей и т. п.) проводится въ городъ или самотокомъ или при помощи нагнетанія паровыми насосами. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ вода изъ источника  $A$  (черт. 188) насосами помѣщенными въ машинномъ зданіи  $D$  поднимается по всасывающей трубѣ  $ab$  и гонится по нагнетательной трубѣ  $edef$  въ бакъ находящійся въ верхнемъ этажѣ водонапорной башни  $C$ . Отсюда вода по трубѣ  $hkB$  направляется въ городъ.

Покажемъ теперь способъ опредѣленія діаметра нагнетательной трубы, основанный на условіи *наименьшей стоимости* трубы, насосовъ, паровыхъ машинъ съ котлами и угля потребляемаго послѣдними.

Н. ЛАХТИНЪ.

О ВЫВѢТРИВАНІИ  
КАМЕННЫХЪ  
СТРОИТЕЛЬНЫХЪ МАТЕРІАЛОВЪ.

~~~~~  
СЪ ТРЕМЯ ФОТОТИПІЯМИ.

—  
С.-ПЕТЕРБУРГЪ.  
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, 9.  
1890.

Печатано по распоряженію Института инженеровъ путей сообщенія  
Императора АЛЕКСАНДРА I.

## О выветриваніи каменныхъ строительныхъ матеріаловъ.

Инженера Н. К. Лахтина.

Случаи поврежденій зданій, храмовъ, дворцовъ памятниковъ, столь драгоцѣнныхъ по ихъ художественному, историческому и духовному значенію, многочисленныя поврежденія и разрушенія искусственныхъ сооружений (мостовъ, моловъ и проч.) вслѣдствіе поврежденій каменнаго матеріала, послужившаго на возведеніе сооружений, иногда стонвшихъ громаднхъ затратъ государству, заставляютъ стремиться къ изученію причинъ выветриванія и разрушенія камней.

Чтобы иллюстрировать сказанное примѣрами, стоитъ напомнить о замѣченныхъ поврежденіяхъ фасада Вестминстерскаго дворца, Обелиска Тотмеса въ Нью-Йоркѣ, Александровской колонны, колоннъ Исакиевскаго собора, зданія Швейцарской Политехнической школы, многихъ надгробныхъ памятниковъ, облицовки опоръ большихъ мостовъ черезъ рѣки Цну и Оку и безчисленное множество разрушеній облицовки опоръ мостовъ, влекущее за собой довольно затруднительный ремонтъ при перемѣнѣ облицовки, иногда почти совершенно уничтоженной подъ дѣйствіемъ атмосферныхъ агентовъ.

Только тогда можно будетъ возводить сооруженія съ увѣренностью въ ихъ прочности и долговѣчности, когда будутъ изучены причины, разрушающія камни, установлены точно тѣ приемы и признаки, при помощи которыхъ можно отличать камни стойкіе разрушительному дѣйствію упомянутыхъ причинъ, и, наконецъ, будутъ опредѣлены средства, которыя могутъ предупредить разрушеніе камня, остановить или даже только замедлить замѣченное уже выветриваніе камня.

Поэтому изученіе этого вопроса должно заключать въ себѣ слѣдующіе три отдѣла:

1) Определе́ніе причинъ, вліяющихъ на вывѣтриваніе каменнаго строительнаго матеріала въ связи съ его строеніемъ и составными элементами горной породы матеріала.

2) Определе́ніе признаковъ породъ и сортовъ камня, страдающихъ и не страдающихъ отъ дѣйствія атмосферныхъ дѣятелей, и установка опытовъ, при помощи которыхъ можно убѣдиться въ стойкости камней разрушающему дѣйствию атмосферы.

3) Описаніе средствъ и составовъ, предупреждающихъ и останавливающихъ вывѣтриваніе камней.

Предметомъ настоящей статьи будетъ отдѣлъ первый и отчасти второй; по первому отдѣлу собраны и сопоставлены свѣдѣнія, разбросанныя въ сочиненіяхъ, рассматривающихъ вывѣтриваніе камней, или только попутно, или съ точки зрѣнія геологическихъ процессовъ, а также изъ отрывочныхъ замѣтокъ, попадающихся въ журналахъ.

Изложивъ суть вопроса и намѣтивъ отчасти программу изложенія, перейдемъ къ рассмотрѣнію причинъ вывѣтриванія камней.

Химическіе, физическіе и механическіе дѣятели могутъ производить въ каменныхъ сооруженіяхъ болѣе или менѣе глубокія и поверхностныя поврежденія, ведущія сооруженія къ совершенному или только къ поверхностному разстройству.

Къ механическимъ дѣятелямъ относятся тѣ силы, на противодействие которымъ рассчитано данное сооруженіе, напр., опрокидывающее дѣйствіе вѣтра на маяки и высокіе мостовыя опоры, ударъ волнъ о волноломъ и т. д. и тѣ усилія, которыя вызываются въ частяхъ сооруженія подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ, напр., распоръ свода, давленіе фермы на подферменный камень и давленіе послѣдняго на кладку мостовой опоры и проч.

Измѣнскія температуры, выщелачивающее дѣйствіе воды, замерзаніе воды въ скважинахъ камня, дѣйствіе газовъ, растворенныхъ въ атмосферныхъ осадкахъ, дѣйствіе растительности, появляющейся на камняхъ, относятся къ дѣятелямъ химическимъ и физическимъ. Разрушеніе камня, вызванное этими дѣятелями, называется его *вывѣтриваніемъ*.

Не входя здѣсь въ рассмотрѣніе вліянія механическихъ дѣятелей на камень, надо замѣтить, что вывѣтриваніе камня должно въ сильной степени зависѣть отъ напряженій, вызванныхъ въ камнѣ механическими дѣятелями. Поэтому, лабораторные опыты, ограничиваю-

щієся преимущественно одностороннімъ изученіємъ вывѣтриванія камней безъ участія механическихъ дѣятелей, не могутъ дать полнаго представленія о разрушаемости камней подъ совокупнымъ дѣйствіемъ всѣхъ причинъ, обуславливающихъ разрушеніе камня въ строительной практикѣ.

Вывѣтриваніе камней, какъ сказано выше, вызывается растворяющимъ дѣйствіемъ воды на камни, дѣйствіемъ газовъ, растворенныхъ въ атмосферныхъ осадкахъ, растительностью, появляющеюся на камняхъ, переменами температуры и замерзаніемъ воды въ скважинахъ камня. Разсмотримъ дѣйствіе каждой изъ упомянутыхъ причинъ на камни въ отдѣльности. \*

Атмосферные осадки содержатъ въ себѣ небольшое количество углекислоты, кислорода и азота воздуха, кромѣ того, въ густо населенныхъ мѣстностяхъ, въ промышленныхъ городахъ, гдѣ много фабрикъ, атмосферные осадки увлекаютъ съ собою сѣрнистый ангидридъ и сѣрководородъ, являющіеся продуктомъ сжиганія каменнаго угля и свѣтильнаго газа. Изъ всѣхъ перечисленныхъ газовъ, поглощенныхъ водою, наибольшее вліяніе на камни принадлежитъ углекислотѣ, сѣрнистому ангидриду и сѣрководороду. Кислородъ принимаетъ значительно меньше участія въ превращеніяхъ, происходящихъ въ камняхъ, чѣмъ это можно было бы ожидать. Азотъ же совершенно не играетъ никакой роли, не считая ничтожнаго содержанія въ атмосферныхъ осадкахъ азотной кислоты, образуемой изъ кислорода и азота воздуха въ присутствіи паровъ воды подъ дѣйствіемъ атмосфернаго электричества.

Вода, проникая въ камни, можетъ превращать безводные минералы въ гидраты. Особенно важныя послѣдствія имѣетъ подобный переходъ при превращеніи ангидрита въ гипсъ, т. е. безводный сѣрнокислый кальцій переходитъ въ водный, соединяясь съ 25% воды по вѣсу. При благопріятныхъ условіяхъ, процессъ этотъ происходитъ очень быстро; такъ въ отвалахъ рудника въ кантонѣ Валлисѣ, близъ Бекса куски ангидрита начинаютъ обращаться въ гипсъ по прошествіи 8 дней. Стѣны штоленъ, проведенныхъ въ ангидритѣ, отъ поглощенія воды разбухаютъ настолько, что штольни приходится расширять время отъ времени.

Гипсъ, въ свою очередь можетъ быть растворимъ водою, такъ что другія породы, сцементированныя имъ, распадаются. Пре-

краснымъ примѣромъ подобнаго разрушенія камня отъ выщелачиванія гипса служить, описанный въ книгѣ „Механическая Лабораторія 1875—1886 г.“, „Жайскій песчаникъ, мѣсторожденіе котораго находится въ имѣніи Жайскомъ бар. Вольфа, Муромскаго уѣзда, Владимирской губерніи въ крутомъ берегу Оки. Жайскій песчаникъ свѣтло-краснаго цвѣта съ крапинками, представляетъ глинистый песчаникъ, проникнутый гипсомъ. Сложеніе мелкозернистое. При обработкѣ соляной кислотой даетъ въ нерастворимомъ осадкѣ 66% кремнезема и 3% глинозема; растворимое главнымъ образомъ состоитъ изъ гипса и небольшого количества окиси желѣза. При опредѣленіи насыщенія камня, было обнаружено уменьшеніе его въ вѣсѣ и, наконецъ, очень значительное уменьшеніе объема камня вслѣдствіе растворенія \*) гипса и черезъ то отмываніе песчинокъ“.

Растворяющее дѣйствіе воды значительно увеличивается какъ по силѣ, такъ и по числу растворимыхъ минераловъ, когда вода заключаетъ въ себѣ углекислоту. При этомъ, силикаты извести, магнезій, кали, натра, закиси желѣза и марганца растворяются при обыкновенной температурѣ, освобождая кремнеземъ и образуя карбонаты оснований силикатовъ. Силикаты же глинозема остаются безъ измѣненія. Песчаникъ, сцементированный известью, разсыпается, когда выщелачивается известь, цементирующая зерна кварца. Дождевая вода содержитъ въ себѣ воздуха до  $\frac{1}{20}$  своего объема, причемъ, по Бауметеру, воздухъ, содержащійся въ водѣ, имѣетъ углекислоты въ 33 раза болѣе, чѣмъ воздухъ атмосферы \*\*). Проникающая въ почву вода обогащается углекислотой, такъ какъ, по опытамъ Буссенго и Леви, воздухъ, проникающій въ почву, заключаетъ въ себѣ въ 200 разъ болѣе углекислоты, чѣмъ въ атмосферѣ.

Такому обильному содержанію углекислоты въ грунтовой водѣ можно приписать особенно быстрое и сильное разрушеніе близко лежащихъ къ землѣ частей каменныхъ построекъ. При этомъ, однако, не слѣдуетъ упускать изъ виду разрушающую, непреодолимую силу кристаллизаціи въ камняхъ солей \*\*\*) растворенныхъ въ грунтовой водѣ.

Слѣдующее мѣсто за углекислотой, по своему вліянію на камни,

\*) Одна часть гипса растворяется изъ 460 частяхъ воды.

\*\*\*) Въ атмосферномъ воздухѣ 0,042%  $CO_2$ .

\*\*\*) Селитра, морскія соли.

занимаютъ сѣрнистый ангидридъ и сѣроводородъ, растворенные въ водѣ и придающіе ей кислую реакцію. Въ большихъ промышленныхъ центрахъ и городахъ атмосферные осадки увлекаютъ съ собою сѣрнистый ангидридъ, продуктъ сжиганія каменнаго угля, и сѣроводородъ, результатъ сторанія свѣтильнаго газа. По изслѣдованіямъ доктора Агнуса Смита воздухъ въ Манчестрѣ среднимъ числомъ содержитъ на 1000000 частей 1 часть сѣрной кислоты; въ центрѣ города на тоже количество воздуха приходится до 25 частей сѣрной кислоты. Сѣрная кислота превращаетъ углекислые кальцій и магній (известняки и доломиты) въ растворимые и отлпчающіеся большимъ количествомъ кристаллизационной воды сѣрнокислые, вслѣдствіе чего разрушеніе камней происходитъ и отъ растворенія, и отъ механическаго дѣйствія кристаллизующихся сѣрнокислыхъ солей кальція и магнія ( $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$  и  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ).

Поврежденіе фасада зданія англійскаго парламента (Вестминстерскаго дворца) можетъ быть объяснено, какъ результатъ только что описанныхъ процессовъ.

Для реставрированія зданія парламента послѣ перваго разрушенія его отъ вывѣтриванія камней, вызвавшаго рядъ научныхъ обсужденій, рѣшено было руководствоваться при выборѣ камня наблюденіями надъ состояніемъ камня въ карьерахъ и въ другихъ постройкахъ существовавшихъ долге время безъ всякихъ поврежденій. Коммиссія остановилась на нѣкоторыхъ доломитовыхъ породахъ, изъ которыхъ зданіе парламента и было построено. Но черезъ 7 — 8 лѣтъ по окончаніи постройки начали показываться признаки разрушенія, начиная съ мѣстъ, наиболѣе закрытыхъ, мало доступныхъ свободному дѣйствію атмосферы, но доступныхъ сырости, стекающей и застаивающейся водѣ. Такъ въ наружныхъ частяхъ фасада между верхнимъ и нижнимъ гнѣсами плинта и ниже перваго карниза въ менѣе выступающихъ частяхъ появлялся бѣлый замѣтный налетъ сѣрнокислаго магнія, сопровождаемый разслоеніемъ камня. Въ сказанныя мѣста сырость проникала дѣйствіемъ волосности изъ кацельника гнѣса и превращала доломитъ въ гнѣсъ и сѣрнокислый магній подъ дѣйствіемъ находящейся въ атмосферныхъ осадкахъ сѣрной кислоты, затѣмъ растворяла эти соли, которыя кристаллизуются разрушали, разслаивали камень. Желая объяснить причину, почему доломитъ, начавшій видимо разрушаться черезъ 7 — 8 лѣтъ въ зданіи парламента,

сохранялся долгое время вполне хорошо въ другихъ постройкахъ, надо предположить, что эти хорошо сохранившіяся зданія находятся въ мѣстности, менѣе населенной и менѣе промышленной, а, о карьерахъ и говорить нечего.

Сѣрнистые металлы, встрѣчающіеся въ видѣ включеній въ камняхъ, подъ дѣйствіемъ воды, окисляясь, переходятъ въ сѣрно-кислыя соединенія, которыя въ свою очередь нерѣдко снова разлагаются отъ дѣйствія воды, содержащей углекислоту въ растворѣ, причемъ образуются углекислыя окиси тяжелыхъ металловъ, а щелочи переходятъ въ сѣрнокислыя соли, частью растворимыя, о чемъ уже сказано было выше. Иногда сѣрнистые металлы изъ сѣрно-кислыхъ соединеній обращаются прямо въ водные окислы. Примѣромъ этому можетъ служить сѣрный колчеданъ ( $FeS_2$ ), превращающійся сначала въ желѣзный купоросъ ( $Fe_2SO_4 + 7H_2O$ ), а потомъ переходящій въ бурый желѣзнякъ ( $2Fe_2O_3 + 3H_2O$ ). \*) Процессы эти сопровождаются увеличеніемъ объема упомянутыхъ включеній и бурой окраской въ видѣ потоковъ снаружн камня. Камень при этомъ покрывается трещинками, увеличивающимися впоследствии отъ дѣйствія только что рассмотрѣнную процесса и другихъ причинъ. Подобное разрушеніе наблюдается въ Рускольскомъ \*\*) мраморѣ, употребленномъ на облицовку стѣнъ Исаакіевскаго собора. При ремонтѣ облицовки, куски мрамора, подвергшіеся разрушенію отъ разложенія включеній сѣрнаго колчедана, замѣняются новыми кусками.

Указавъ на нѣкоторыя химическія причины разрушенія камней, упомянемъ о дѣйствіи растительности, которая разрушаетъ камни двояко: механически, распирая своими корнями трещины камня, и химически, выдѣляя кислоты, дѣйствіе которыхъ на камни уже рассмотрѣно. Иногда, въ присутствіи сырости, даже на гладкой поверхности известняковъ и другихъ породъ камней, особенно содержащихъ известъ и кали, появляются пылеобразныя, бурыя, желтыя, сѣрыя и черныя пятна. Пятна эти образуются отъ появленія на камняхъ микроскопическихъ лишайевъ *Lipariae*, *Variolariae*, *Verrucariae*, *Parmelia*, *Collema* и друг., съ развитіемъ которыхъ камень становится неровнымъ,

\*) Освобождающаяся при этомъ сѣрная кислота, въ свою очередь, дѣйствуетъ разрушительно на камни.

\*\*) Рускіялы—Финляндія не далеко отъ Сердоболя.

переховатымъ, трещиноватымъ и рыхлымъ, а въ углубленіяхъ образуется землястый порошокъ камня.

Корни живыхъ лишайевъ выделяютъ щавелевую кислоту, \*) а при гніеніи лишайевъ при доступѣ воздуха, образуется углекислота и гуминовая кислота \*\*), которая, соединяясь съ основаніями, образуетъ соли, частью растворимыя. Особенною растворимостью отличаются гуминовыя соли щелочей, дѣйствующія очень разрушительно на камни. Зенфтъ наблюдалъ при превращеніи растений въ гумусъ, образованіе сѣроводорода, газообразнаго фосфористаго водорода, сѣрнистаго углерода и соединеній, аналогичныхъ таниновой кислотѣ, которыя помимо гумуса могутъ разлагать камни. Покрышка камня изъ лишайевъ, умѣряя колебаніе температуры, увеличиваетъ влажность, которая въ присутствіи углекислоты, еще болѣе успиваетъ разрушеніе камня.

Изъ отжившихъ лишайевъ образуется нѣкоторый слой почвы при попадающей одновременно съ этимъ пылью изъ атмосферы. Этотъ слой почвы, удерживая еще болѣе влаги, содѣйствуетъ произрастанію, сначала мховъ, а потомъ разныхъ растений. Корни растений, распространяясь, не только по поверхности, но и проникая въ камень, дѣйствуютъ подобно клиньямъ; камень покрывается трещинами, въ которыя проникаютъ кислоты и корни растений. Такимъ образомъ камень разрушается постепенно и, наконецъ, распадается на куски. Такое разрушеніе наблюдается наиболѣе часто въ нѣкоторыхъ известковыхъ породахъ камней.

Переходимъ теперь къ разсмотрѣнію разрушенія камней отъ вліянія колебаній температуры. Коэффициенты линейнаго измѣненія камней въ зависимости отъ температуры очень невелики (едва достигаютъ пятого десятичнаго знака), тѣмъ не менѣе, результаты этихъ измѣненій могутъ быть вполне замѣтными. Мари указываетъ въ своемъ курсѣ на выстроенный въ теплое время бассейнъ, который зимой давалъ трещины по швамъ, вслѣдствіе сжатія камней, а къ теплomu времени становился снова непроницаемъ для воды. Разные кристаллы измѣняютъ свои размѣры отъ колебанія температуры различно и не-

\*) На мраморѣ Парфенона въ Афинахъ наблюдается образованіе инкрустацій толщиною около 2 мм. минерала тиршита (щавелевокислая известь), образованіе котораго приписывается особаго рода растительности, появляющейся на мраморѣ.

\*\*\*) *Senft. Deutsche geol. Gesellschaft XIII стр. 665.*

одинаково по разнымъ направлениямъ, какъ показали это Митчерлахъ. Такъ, слюда и полевої шпатъ измѣняютъ свои размѣры отъ температуры крайне неодинаково. Извесковый шпатъ, при нагрѣваніи, расширяясь по направленію главной оси, сжимается по направленію боковыхъ осей. Въ этомъ свойствѣ кристалловъ должна заключаться причина быстрого разстройства Финляндскаго гранита раппа-киви, состоящаго изъ крупныхъ кристалловъ ортоклаза (вершковъ до трехъ) окруженныхъ зеленой каймой олигоклаза, изъ черной слюды, кварца и роговой обманки. Подъ дѣйствіемъ рѣзкихъ переизмѣненій температуры этотъ гранитъ покрывается сѣткой безконечно малыхъ трещинокъ, служащихъ залогомъ дальнѣйшему разрушенію вслѣдствіе многихъ причинъ. Колонны Александровская и Исаакіевскаго собора, сдѣланныя изъ раппа-киви служатъ этому прекраснѣйшимъ примѣромъ. Подобное же разрушеніе гранита описываетъ Gobin въ „La Nature“. Онъ говоритъ, что быстрая и сильная переизмѣна температуры служить причиной вывѣтриванія камней. Гранитный крестъ въ Saint Paule de Mons въ Haute Loire (климатъ холодный безъ тумановъ) поставленный согласно надписи на немъ въ 1670 году, вывѣтрился со стороны, нагрѣваемой солнцемъ, сторона же креста, не нагрѣваемая солнцемъ, осталась вполне цѣла.

Чѣмъ порода камня мелкозернистѣе, однороднѣе и плотнѣе, тѣмъ колебанія температуры окажутъ менше вредное дѣйствіе. Сланцеватое сложеніе породы замедляетъ вывѣтриваніе, поэтому гнейсъ вывѣтривается труднѣе гранита. Напротивъ, крупнокристаллическое и крупнозернистое сложеніе породы и не однородный составъ ея ускоряютъ вывѣтриваніе.

Разрушенія камней, вслѣдствіе размогнѣнныхъ выше причинъ, значительно уступаютъ по силѣ и быстротѣ наступающаго разрушенія, вызваннаго замерзаніемъ воды, находящейся въ скажинахъ камня. Поэтому, при выборѣ камня на постройку, должно обращать особое вниманіе на способность камня противостоятъ разрушающему дѣйствію мороза. Можно указать на множество примѣровъ разрушенія построекъ, вслѣдствіе неудачнаго выбора камня. Такъ, въ началѣ постройки Самаро-Уфимской дороги въ одномъ изъ среднихъ ея участковъ облицовка устоевъ небольшихъ мостиковъ и трубъ была сдѣлана изъ прекраснаго бѣлаго известняка довольно плотнаго и легко поддающагося обработкѣ. Первая же зима привела облицовку этихъ сооружений къ полному разрушенію, такъ что пришлось сооруженія перестраивать вновь.

Вода, заключающаяся въ скважинахъ камней, замерзая, увеличивается съ необыкновенной силой на  $\frac{1}{11}$  (по Гюмбелю) своего объема и при этомъ, раздвигая частицы камня, разрушаетъ его. Скважины эти могутъ быть или естественныя, присущія данной породѣ камня, или уже какъ результатъ одного изъ упомянутыхъ выше видовъ разрушенія камня.

Вода, заключающаяся въ скважинахъ камня, можетъ быть или карьерная, т. е. находившаяся въ камнѣ до извлеченія его изъ горы, или поглощенная камнемъ уже впоследствии. Количество карьерной воды очень различно и зависитъ отъ свойства камня; количество это, колеблясь, по Делессу, между нѣсколькими десятками процента (для гранита крупно-зернистаго—0,37%) и до 40% для рухляковъ почти равно количеству поглощаемой воды камнями при опытныхъ опредѣленіяхъ \*) насыщенности камня. По вынутіи изъ горы, камень долженъ остаться нѣкоторое время на воздухѣ, чтобы карьерная вода испарилась; извѣстно, что добытые камни зимою, когда карьерная вода не испарилась, трескаются отъ мороза; при этомъ соли, растворенныя въ карьерной водѣ, могутъ дѣйствовать различно: иногда задерживать замерзаніе воды, иногда, напротивъ, ускорять (охлаждающія смѣси).

При испареніи карьерной воды, вещества, растворенныя въ ней (кремнекислота и соли), выдѣляются и заполняютъ поры камня или вступаютъ въ соединеніе съ веществомъ камня, при этомъ камень становится тверже, прочнѣе и возможность поврежденія его отъ мороза значительно уменьшается, а выдѣлившіяся вещества, при по-

---

\*) Для опредѣленія насыщенности камня поступаютъ такъ: взвѣренный и взвѣшенный воздушно-сухой кубикъ изъ камня погружаютъ въ воду на нѣсколько миллиметровъ и затѣмъ продолжаютъ его постепенно, въ теченіи нѣсколькихъ часовъ погружать все глубже. При такомъ погруженіи вода проникаетъ постепенно въ камень и вытѣсняетъ воздухъ, не образуя въ немъ воздушныхъ пузырьковъ и не оставляя сухихъ, ненасыщенныхъ мѣстъ. Когда камень погруженъ весь въ воду, тогда его взвѣшиваютъ черезъ нѣкоторые промежутки времени (черезъ день, два) до полнаго прекращенія увеличенія его въ вѣсъ. Если  $G$  вѣсъ сухаго образца, а  $G'$  вѣсъ насыщеннаго, то насыщеніе камня въ процентахъ на единицу вѣса будетъ  $S_g = \frac{G' - G}{G} \times 100$ , а насыщеніе въ единицахъ объема  $S_v = S_g \times g$ , гдѣ  $g$  — вѣсъ куб. см. камня въ грам., т. е. въ 100 единицахъ объема пустотъ находится  $S_v$  единицъ объема.

слѣдующихъ насыщеніяхъ камня водой, уже вновь не столь легко растворимы.

Особенно разрушительно на камни дѣйствуютъ чередующіяся рѣзкія перемены температуры въ присутствіи влаги, тѣмъ болѣе, что вода, какъ это доказалъ Мпнаръ непосредственными опытами, выступая изъ камня во время сильныхъ морозовъ, сопровождаемыхъ сухой погодой, можетъ быть снова имъ поглощена и, замерзая, произвести его разрушеніе. Когда послѣ сильныхъ холодовъ наступаетъ оттепель, и повышеніе температуры совершается быстро, тогда воздухъ становится очень влаженъ, и на поверхности стѣны появляется вода въ видѣ бѣлаго мохообразнаго налета, которая потомъ замерзаетъ въ ледяную кору. При этомъ наружныя части стѣны оказываются теплѣе внутреннихъ, которыя сохранили еще прежнюю болѣе низкую температуру. Болѣе высокая температура проникаетъ внутрь стѣны постепенно, и, вмѣстѣ съ постепеннымъ повышеніемъ температуры внутреннихъ частей стѣны, влага проникаетъ все глубже и глубже. Такое проникновеніе влаги въ камень происходитъ періодически, такъ какъ вмѣстѣ съ суточными колебаніями температуры (днемъ теплѣе, а ночью холоднѣе) происходятъ временныя замерзанія воды, вступившей въ стѣну. Это періодическое замерзаніе воды содѣйствуетъ болѣе глубокому прониканію влаги внутрь камня, причѣмъ вода, замерзая каждый разъ, увеличиваетъ трещинки, которыя только послѣ оттаиванія становятся воспріимчивѣе къ дальнѣйшему своему увеличенію.

Переходимъ теперь къ описанію видовъ разрушенія камня отъ дѣйствія мороза.

Брардъ указываетъ на слѣдующіе три вида разрушенія камней:

1) *Неправильными угловатыми осколками* разрушаются плотные полевые шпаты, содержащіе известь и имѣющіе на поверхности желтые или сѣрые полосы по разнымъ направленіямъ.

2) *Слоями болѣе или менѣе тонкими и пластинками* разрушаются известняки, содержащіе глину и способные давать трещины (обладающіе спайностью) рухляковые сланцы и песчаники, содержащіе слюду.

3) *Зернистыми болѣе или менѣе мелкими* разрушаются крупно и мелкозернистые известняки, нѣкоторые виды гранита и, особенно, песчаника.

Брардъ, указывая виды разрушенія камней отъ мороза, свойственныя разнымъ породамъ камней, не говоритъ, однако, этимъ, что перечисленныя породы камней непремѣнно должны страдать отъ дѣйствія мороза.

Приведемъ примѣры \*) типичныхъ разрушеній камней отъ дѣйствія мороза.

а) Известнякъ ровнаго бѣлаго цвѣта, неплотнаго сложенія треснулъ на двѣ части и окрашился по ребрамъ и угламъ (рис. 1)\*\*).

Грубый известнякъ сѣраго цвѣта съ глинистыми включеніями и прослойками треснулъ по прослойкѣ и крошится (рис. 2).

Известковый сланецъ чернаго цвѣта плотнаго сложенія послѣ 14 замораживаній разрушился по спайности на нѣсколько частей, что видно на рис. 3.

б) Въ известнякахъ средней плотности, розоватомъ (рис. 4), сѣроватомъ (рис. 5) и сѣромъ (рис. 6) съ глинистыми прослойками обнаружилось поврежденіе по гранямъ параллельно поверхности залеганія камня въ горѣ.

с) Известнякъ плотный, очень мелко-раковистый (рис. 7), желтоватаго цвѣта далъ трещину послѣ *многократныхъ* замораживаній.

д) Раковисто-оолитовый известнякъ (рис. 8) крошился по ребрамъ и угламъ.

е) Плотный известнякъ сѣроватаго цвѣта (рис. 9) съ сѣрыми жилками далъ рѣдко наблюдаемыя выкалыванія въ видѣ небольшихъ ямокъ (а и б).

г) Иностранные песчаники, употребленные на облицовку двухъ прекрасныхъ зданій въ Петербургѣ (на набережной Невы (1886 г.) и на Большой Морской (1887 г.)), съ примѣсью блесковъ слюды, одинъ (рис. 10), окрашенный окисью желѣза въ красно-бурый цвѣтъ, а другой (рис. 11) сѣраго цвѣта—крошатся по ребрамъ и угламъ.

Вывести опредѣленное заключеніе: какія породы камней болѣе

\*) Изъ многочисленныхъ опытовъ на замораживаніе камней, производившихся въ Механической Лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія.

\*\*) Фотографическіе снимки съ камней, пострадавшихъ отъ мороза, исполнены въ Фотографической Лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія.

подвергаются разрушенію отъ мороза, и какія свойства породъ наиболѣе этому способствуютъ—до сихъ поръ не удалось. Такъ, нѣкоторые изъ оолитовыхъ известняковъ прекрасно сопротивляются дѣйствию мороза, тогда какъ другіе разрушаются чрезвычайно быстро. Точно также не удалось найти опредѣленной зависимости между пористостью камня и его способностью сопротивляться дѣйствию мороза. Одни изъ пористыхъ камней легко подвергаются разрушенію, другіе, напротивъ, совершенно не страдаютъ отъ мороза.

Впрочемъ, характеръ пористости камня отражается на его стойкости дѣйствию низкой температуры. Когда поры распределены въ камнѣ болѣе или менѣе равномерно внутри и у поверхности, тогда вода, расширяясь при замерзаніи, имѣетъ возможность выступать наружу сквозь поры, не разрушая камень; напротивъ, когда поры и пустоты (каверны) находятся внутри довольно плотнаго камня и не имѣютъ выходовъ наружу, тогда вода, попавшая въ эти пустоты вслѣдствіе водосности разрушаетъ камень, не имѣя мѣста для своего расширенія при замерзаніи. Одинаковую роль съ пустотами могутъ играть въ этомъ случаѣ песчано-глинистыя включенія и прослойки, проводящія воду въ камень, на подобіе дренажа; при этомъ вліяніе включеній и прослоекъ отражаются сильнѣе вліянія пустотъ, такъ какъ песчано-глинистыя включенія, проводя воду, препятствуютъ, однако, расширенію воды при замерзаніи.

Попытки найти способы, при помощи которыхъ можно было бы убѣдиться въ стойкости камней разрушающему дѣйствию мороза, не прибѣгая къ опытамъ на непосредственное замораживаніе камней и не вдаваясь въ разсмотрѣніе свойствъ камней, способствующихъ разрушенію, не привели къ точнымъ и удовлетворительнымъ результатамъ.

Врардъ предложилъ замѣнить дѣйствіе кристаллизаціи воды на камни при обращеніи ея въ ледъ какой нибудь солью, не дѣйствующею на камни и кристаллизація которой происходитъ быстро и энергично. Такими свойствами обладаетъ глауберова соль (сѣрно-кислый натрій). Сѣрнокислый натрій, при нагреваніи съ водою выше  $33^{\circ}$  С, даетъ пресыщенный растворъ, изъ котораго образуются кристаллы тенардита (безводный сѣрно-кислый натрій, кристаллизующійся въ ромбической системѣ). Изъ раствора же, температура котораго ниже  $33^{\circ}$  С., кристаллизуется водный сѣрно-кислый натрій (глауберова соль) въ одноосновной системѣ. По Врарду, дѣйствіе кристаллизаціи тенар-

дита сильнѣе мороза, а дѣйствіе кристаллизаціи глауберовой соли равно по силѣ послѣднему.

Поэтому, опытъ производится такъ: готовятъ 50% растворъ глауберовой соли въ водѣ при 15° С, кипятятъ его, опускаютъ въ кипящій растворъ камни, приготовленные въ видѣ кубиковъ по 5 см. въ сторонѣ, и продолжаютъ кипяченіе съ камнями около получаса. Затѣмъ камни вынимаютъ и подвѣшиваютъ на ниткѣ, подставляя подъ каждый камень стаканъ съ растворомъ въ которомъ кипятили камни. На поверхности камня, по его охлажденіи, начинаютъ обра-

| Порода камня.                        | Способъ Врарда.                                                                        | Способъ непосредственнаго замораживанія.                                                        | Примѣчаніе.                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Трахитовый туфъ.                     | Грани кубика покрылись сѣткою трещинъ, но ребра и углы остались почти неповрежденными. | Послѣ 5 замораживаній наблюдается сильное отслаиваніе по гранямъ; ребра и углы сильно крошатся. | Результаты испытаній по способу Врарда не столь рельефны, какъ при непосредственномъ замораживаніи; продолжительность опыта, при непосредственномъ замораживаніи, отращивается въ приведенныхъ случаяхъ 2—3 днями, а по способу Врарда не менѣе 5 дней. |
| Гатчинскій известковистый песчаникъ. | На граняхъ появилась едва замѣтная выкрашиванія въ видѣ маленькихъ извощекъ.           | Послѣ 3-хъ замораживаній началъ сильно разрушаться.                                             |                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Пористый известнякъ.                 | Видимыхъ повреждений нѣтъ, но въ растворѣ замѣчается муть.                             | Послѣ 4-хъ замораживаній наблюдается выкрашиваніе на граняхъ.                                   |                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Плотный известнякъ.                  | Никакихъ признаковъ повреждений не замѣчено.                                           | Послѣ 13 замораживаній началъ сильно крошиться по угламъ.                                       |                                                                                                                                                                                                                                                         |

зовываться кристаллы, которые смываютъ по временамъ, погружая камень въ подставленный подъ него стаканъ съ растворомъ. Врардъ утверждаетъ, что если камень страдаетъ отъ мороза, то это обнару-

жигся дней через пять, и что ни одинъ известнякъ не выдерживаетъ подобное испытаніе, продолженное 20 дней.

При этихъ опытахъ совѣтуется каждый разъ вмѣстѣ съ испытуемыми камнями подвергать тому же испытанію одинъ камень, безусловно не страдающій отъ мороза, а другой безусловно страдающій. Многие и, между прочимъ, Нивуа утверждаютъ, что способъ Брарда не приводитъ къ точнымъ результатамъ и что существуютъ примѣры камней, выдержавшихъ съ успѣхомъ это испытаніе, но совершенно разрушившихся отъ дѣйствія мороза. Для сравненія способа Брарда съ непосредственнымъ замораживаніемъ камней составителемъ этой статьи было сдѣлано нѣсколько параллельныхъ опытовъ, результаты которыхъ помѣщены въ приведенной таблицѣ.

Браунъ пытался дѣлать заключенія о стойкости камней разрушающему дѣйствию мороза изъ сравненія временнаго сопротивленія камней разрыву и работы, производимой насыщающей камень водой при ея замерзаніи. Успіе, вызванное увеличеніемъ объема воды, при ея замерзаніи, можно разсматривать, какъ нѣкоторое успіе, разрывающее камень. Зная, съ одной стороны, временное сопротивленіе камня разрыву, опредѣляемое опытомъ, и его абсолютную пористость, т. е. объемъ всѣхъ пустотъ камня, а съ другой стороны зная, что одинъ килограммъ воды, замерзал, производитъ работу въ 33680 калограммометровъ, можно придти къ заключенію о сопротивленіи камня дѣйствию мороза.

Браунъ пришелъ къ слѣдующему уравненію:

$$\left[ (1 - C_1 + C_2) \right] R \cong \cong 33,68 S,$$

гдѣ  $R$  — временное сопротивленіе камня насыщеннаго водой разрыву (кял. на кв. см.)

$C_1$  — коэффициентъ безопасности  $\left( \frac{1}{3} - \frac{1}{20} \right)$ , въ виду нарушенія свойствъ матеріала за предѣломъ упругости

$C_2$  — коэффициентъ Годкинсона около  $\frac{1}{3}$ , въ виду неоднородности камней и возможныхъ неточностей опыта въ зависимости отъ способа дѣйствія силы и проч.

$S$  — насыщеніе камня въ грам.

$S$  —  $\frac{\text{вѣсъ насыщеннаго} - \text{вѣсъ сухаго}}{\text{объемъ}}$   $\frac{\text{грам.}}{\text{см.}}$

33,68 — работа одного грамма воды при замерзаніи.

Если лѣвая часть уравненія больше или равна правой, то камень не разрушится отъ дѣйствія мороза, если же меньше, то камень долженъ пострадать отъ мороза. Такова попытка Брауна разрѣшить эту задачу, но Дебовъ, по причинѣ многихъ неточностей и неопредѣленностей, не видитъ въ этой теоріи рѣшенія занимающаго насъ вопроса. Вслѣдствіе неудовлетворительности описанныхъ выше попытокъ найти способъ убѣдиться въ стойкости камней разрушительному дѣйствию мороза и отсутствія признаковъ, по которымъ можно было бы отличать камни, могущіе пострадать отъ мороза, приходится прибѣгать каждый разъ къ непосредственнымъ опытамъ на замораживаніе камней; камень предварительно насыщается водою и затѣмъ подвергается замораживанію. Насыщеніе камня водою должно производиться крайне осторожно, неторопливо, погружая камень въ воду постепенно, и должно продолжаться до совершеннаго прекращенія увеличенія вѣса камня отъ впитыванія воды. Въ противномъ случаѣ, въ камнѣ можетъ остаться воздухъ и ненасыщенные части камня, дающія ошибку въ величинѣ насыщенія камня до 4%. Для скорости процесса насыщенія можно примѣнять воздушный насосъ, при помощи котораго разрѣжается воздухъ, заключенный въ камнѣ, и постепенно замѣщается водою.

Послѣ насыщенія, камни подвергаются послѣдовательнымъ замораживаніямъ и оттаиваніямъ 25 разъ, какъ это принято на конференціяхъ по однообразному испытанію строительныхъ матеріаловъ (Мюнхенъ — Дрезденъ).

Въ Механической Лабораторіи Института Инженеровъ Путей Сообщенія завѣдывающимъ ею проф. Н. А. Бѣлелюбскимъ устроенъ приборъ для искусственнаго замораживанія камней. Въ деревянный большой ящикъ вставляется меньшій деревянный, обитый внутри цинкомъ ящикъ, въ который вставляется еще меньшій цинковый ящикъ; между первымъ и вторымъ находятся древесныя опилки, а между вторымъ и третьимъ охлаждающая смѣсь. Во второй ящикъ плотно вставляется невысокій цинковый съ охлаждающей смѣсью ящикъ, который плотно закрываетъ третій (цинковый)

лщикъ. Все накрывается цинковой крышкою, засыпается опилками и закрывается деревянною крышкою.

Охлаждающая смѣсь составляется изъ льда и поваренной соли, взятыхъ въ отношеніи 2 : 1. Такая смѣсь въ теченіи 2—3 дней поддерживаетъ температуру до  $-17^{\circ} C$ , послѣ чего температура постепенно повышается и къ 4—5 дню доходить до  $-10^{\circ} C$ , послѣ чего охлаждающая смѣсь возобновляется. Смѣсь, составленная изъ 3 или 4 частей льда на 1 часть соли, понижаетъ температуру не ниже  $-15, -16^{\circ} C$  но сохраняется не столь продолжительное время.

Камни помѣщаются въ цинковый ящикъ вмѣстѣ съ термометромъ maxima-minima Сикса часа на 3—4, послѣ чего они вынимаются и погружаются въ воду обыкновенной комнатной температуры часа на два, а затѣмъ могутъ быть снова положены въ ящикъ для замораживанія.

Термометръ Сикса имѣетъ слѣдующее устройство: на дощечкѣ съ двумя шкалами помѣщена изогнутая стеклянная трубка со столбикомъ ртути и съ двумя резервуарами по концамъ, однимъ большимъ и длиннымъ, наполненнымъ алкоголемъ и другимъ меньшимъ круглымъ, наполненнымъ парами алкоголя. Въ трубку вложены два желѣзныхъ указателя, которые предъ наблюденіемъ подводятся къ поверхности ртути. При пониженіи температуры, алкоголь сжимается въ длинномъ большемъ резервуарѣ, и ртуть подается въ его сторону; наоборотъ, при повышеніи температуры алкоголь расширяется, передвигаетъ столбикъ ртути въ сторону меньшаго резервуара и сжимаетъ въ немъ пары алкоголя.

При производствѣ испытанія камней дѣйствіемъ низкой температуры, существенно наблюдать, чтобы камни подвергались охлажденію никакъ не выше  $-10^{\circ} C$ , и чтобы температура, хотя по временамъ понижалась до  $-17^{\circ} C$ , такъ какъ по опытамъ Сорби, вода въ капиллярныхъ трубкахъ и скважинахъ замерзаетъ только при  $-17^{\circ} C$  и даже  $-20^{\circ} C$ , такъ что вода въ камняхъ можетъ остаться, не обращаясь въ ледъ и при температурѣ ниже  $0^{\circ}$ , что можетъ привести къ неправильнымъ заключеніямъ.

Облицовка моста у Боррезъ, сохранявшаяся въ теченіе 10 лѣтъ безъ всякихъ поврежденій, покрылась трещинами вслѣдъ за первой оттепелью, послѣ холодной суровой зимы, въ теченіе которой температура доходила до  $-22^{\circ} C$ .

Въ заключеніе описанія дѣйствія мороза на каменный строитель-

ный материалъ должно замѣтить, что благопріятные результаты опытовъ даже при непосредственномъ замораживаніи камней, не могутъ служить безусловной гарантіей за полное сопротивленіе камней дѣйствию мороза въ томъ случаѣ, когда камень еще подверженъ вліянію механическихъ дѣятелей. Единственно довольно затруднительные для выполненія опыты послѣдовательныхъ замораживаній и оттаиваній камня, на который постоянно дѣйствуетъ нѣкоторая сжимающая его сила, могутъ дать вѣрную оцѣнку.

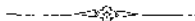
Вывѣтриваніе камня, подѣ дѣйствіемъ всѣхъ разсмотрѣнныхъ выше причинъ, можетъ происходить или крайне медленно или, напротивъ, чрезвычайно быстро. Маламъ указываетъ на интересный примѣръ разрушенія сооруженія отъ вывѣтриванія камней. Отъ прекрасной церкви въ Боппервилл въ Нормандіи, построенной въ срединѣ XI вѣка остался черезъ 800 лѣтъ одинъ фундаментъ. Въ нашемъ климатѣ песчаникъ разрушается на  $\frac{1}{3}$  въ теченіи 40 лѣтъ, а на поверхности гранитовъ \*) въ 15 — 20 лѣтъ образуются слѣды разрушенія (Александровская колонна и колонны Исаакіевскаго собора).

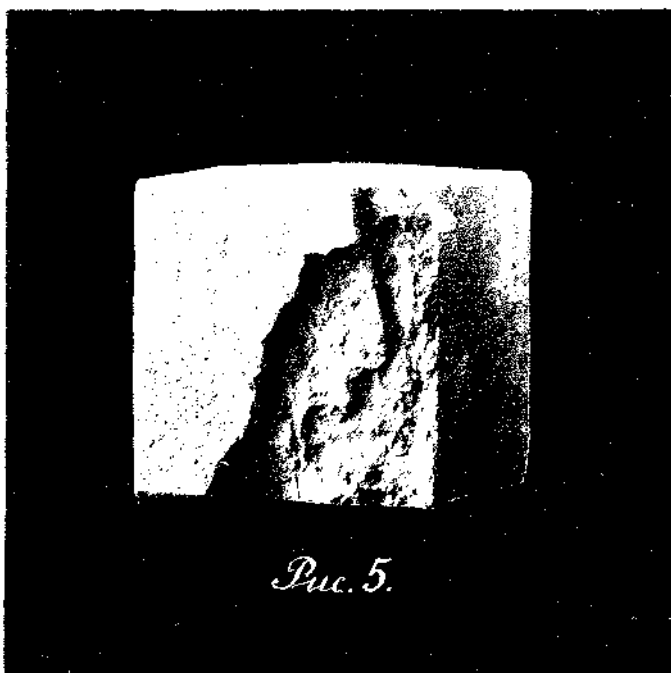
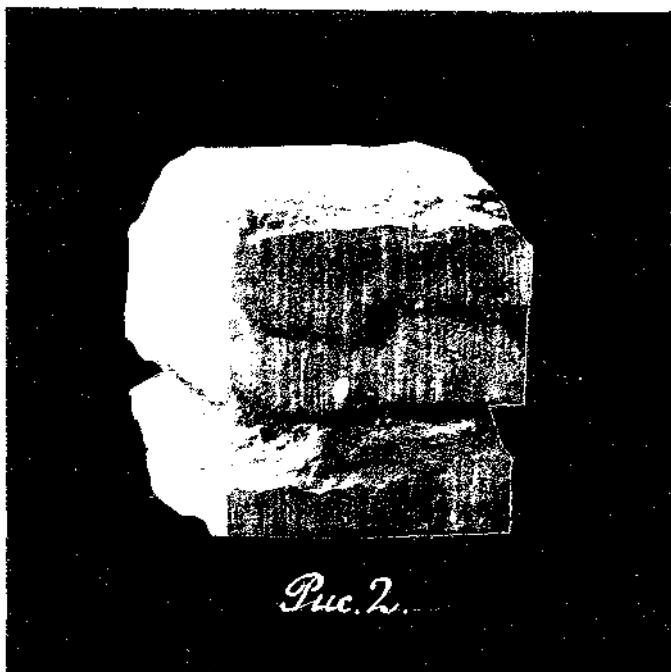
Не слѣдуетъ, однако, изъ приведенныхъ примѣровъ дѣлать заключенія, что нѣтъ камня, сопротивляющагося съ успѣхомъ всѣмъ разрушающимъ причинамъ. Примѣры хорошо сохранившихся породъ камней могутъ быть приведены въ большемъ числѣ. Такъ: Шокиселскій песчаникъ (памятникъ Николаю I), Сердобольскій гранитъ (колонны у Копногвардейскаго бульвара, Каріадиты подѣ Эрмитажнымъ балкономъ и опоры Николаевскаго моста), красный египетскій гранитъ (сфинксы съ иллитусами на набережной Невы), Шведскій Эльфдальскій порфиръ (ваза въ Лѣтнемъ саду) и множество разныхъ другихъ породъ: песчаникъ (каровскій, котельничскій и др.), известняки (ревельскій мраморовидный, жигулевскій, царево-курганскій и др.), употребленные на разныя постройки.

\*) Разрушеніе гранита, какъ это можно иногда наблюдать, начинается съ вывѣтриванія роговой обманки, которая покрывается зеленымъ порошкомъ (глаукоцитомъ), частью растворяемымъ, частью уносимымъ механически атмосферными осадками. Гранитъ покрывается язвицами въ мѣстахъ, гдѣ роговая обманка находится на его поверхности. Язвицы эти, въ свою очередь, содѣйствуютъ дальнѣйшему болѣе быстрому и сильному разрушенію породы. Подобное разрушеніе и наблюдалъ въ Павловскѣ въ колоннахъ (съ южной ихъ стороны) портика памятника Императору Павлу, сдѣланныхъ изъ Финляндскаго гранита.

При выборѣ камня на постройку и при испытаніяхъ каменныхъ строительныхъ матеріаловъ, всегда слѣдуетъ имѣть въ виду тѣ климатическія и другія условія, въ которыхъ будетъ находиться камень. Прекраснымъ примѣромъ этого можетъ служить обелискъ изъ сіенито-гранита въ 70 футьъ высотой и покрытый іероглифами, поставленный въ Геліополисѣ во время царствованія Египетскаго царя Тотмеса. Обелискъ сдѣланъ изъ монолита, выломаннаго въ 1560 году до Р. Х. въ знаменитыхъ камнеломняхъ Сіены (Ассуанъ) въ верхнемъ Египтѣ. При римскихъ императорахъ въ 22 году до Р. Х. онъ перевезенъ въ Александрію и установленъ въ храмъ Цезаря. Въ 1877 году бывший хедивъ Египта Измаиль-Паша подарилъ обелискъ Сѣверо-Американскимъ Соединеннымъ Штатамъ, куда онъ перевезенъ въ 1880 году и установленъ въ Нью-Йоркѣ. Черезъ нѣкоторое время обнаружены были признаки вывѣтриванія камня, особенно съ западной стороны, стороны господствующихъ вѣтровъ. При освидѣтельствваніи оказалось возможнымъ отдѣлить большіе куски камня, и всего собрано 870 фунтовъ. Наблюденія надъ насыщеніемъ показали, что подвѣтренная сторона обелиска поглощаетъ воды въ 6 разъ болѣе другихъ сторонъ.

Ограничиваясь краткимъ разсмотрѣніемъ причинъ разрушенія сооруженийъ, связанныхъ съ вывѣтриваніемъ камней и не вдаваясь въ чрезмѣрныя подробности, чтобы не затемнить ими главнаго, мы далеко не считаемъ этимъ очеркомъ исчерпаннымъ интересующій насъ вопросъ, но надѣемся, что изъ появляющихся въ литературѣ поэтому предмету статей въ связи съ накопленіемъ опытныхъ данныхъ можно будетъ придти къ выясненію признаковъ породъ, наиболѣе подвергающихся разрушенію отъ вывѣтриванія, и найти быстрый и точный способъ отличать породы и сорта камней, наиболѣе стойкіе разрушающему дѣйствию атмосферныхъ дѣятелей.







*Рис. 6.*



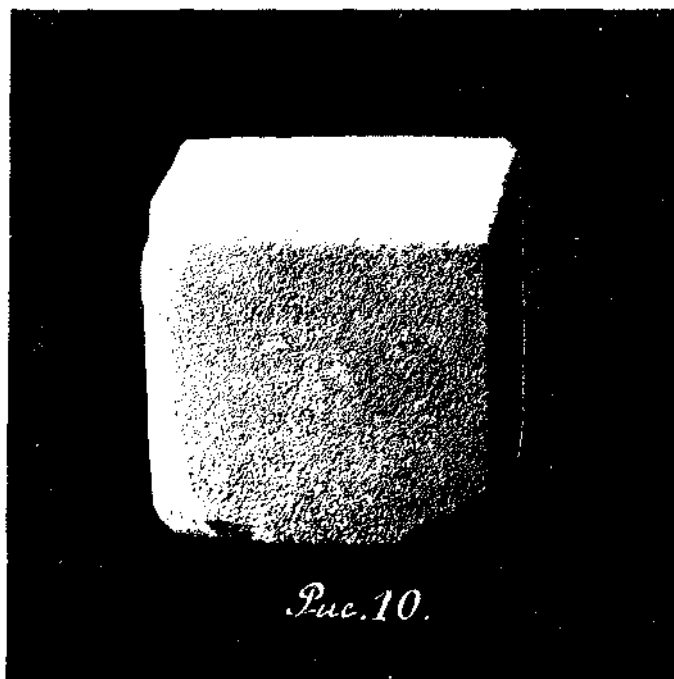
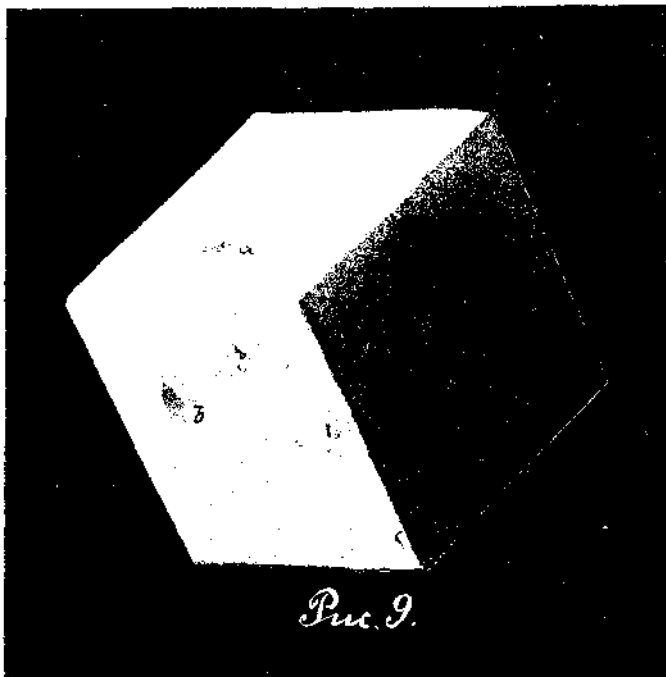
*Рис. 11.*

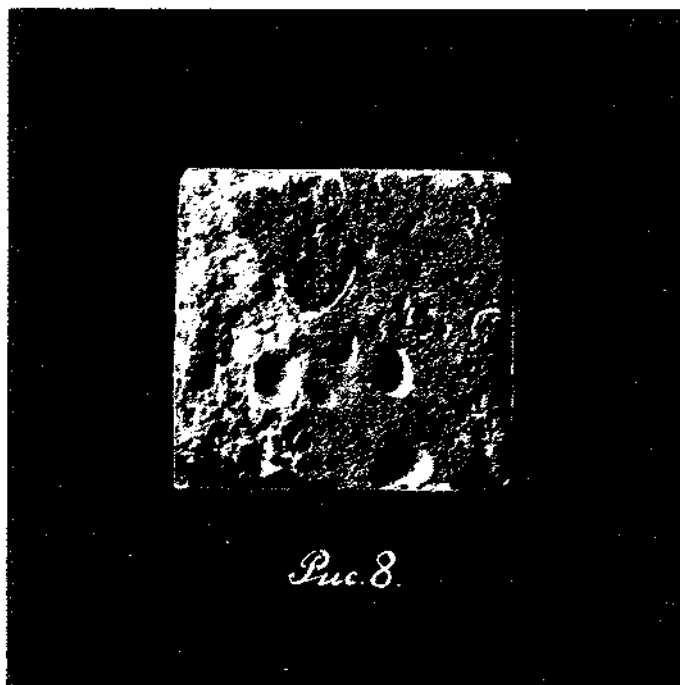
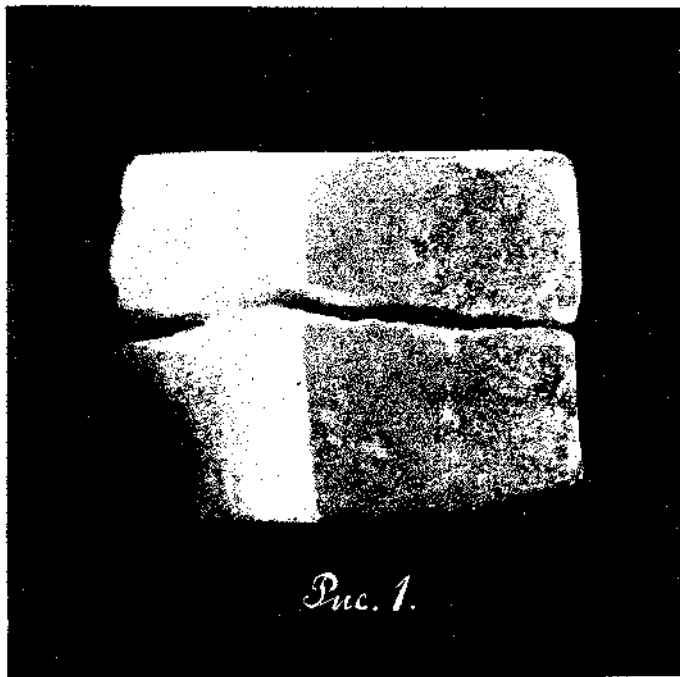


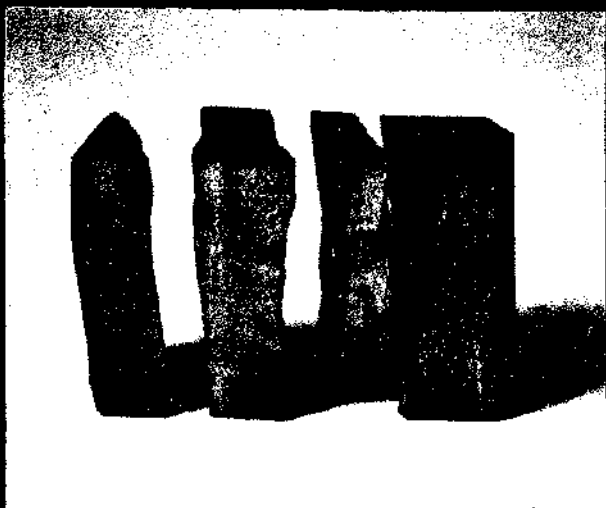
*Puc. 4.*



*Puc. 7.*







*Puc. 13.*