

Е. А. ГИБШМАН

**ЖЕЛЕЗНЫЕ
ДОРОГИ**



**МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ТРАНСПОРТА
МОСКВА 1927 г.**

Профессор Е. А. ГИБШМАН

ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ, УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОД-
ВИЖНОГО СОСТАВА, УСТРОЙСТВО ПУТИ
В ПРЯМЫХ И КРИВЫХ, РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЙ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ч А С Т Ь I

Отпечатано в Твери
Гостиподр. им. Карла Маркса.
Мосгублит № 30640.
Тираж 2000. Зак. № 931.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий труд представляет собой часть курса железных дорог (общая часть, условия движения подвижного состава, уширение колеи и возвышение наружного рельса в кривых, переходные кривые, расчет отверстий искусственных сооружений), читанного мной в Московском Институте Инженеров Транспорта на Строительном и Эксплоатационном факультетах.

В виду затруднительности издать два отдельных курса, в которых были бы отражены уклоны, соответственно каждому факультету, при издании настоящего труда я имел в виду удовлетворить нуждам обоих факультетов.

Согласно утвержденным учебным планам МИИТ'а, имеются следующие специальные курсы, соприкасающиеся с курсом железных дорог:

- 1) Проектирование жел. дорог,
 - 2) Подвижной состав
- и 3) Тяговые расчеты;

поэтому в общей части железных дорог вопросы, касающиеся сопротивления движению и силы тяги, изложены очень сжато, даны только понятия; равным образом в отношении подвижного состава даны лишь сведения, необходимые для усвоения вопроса об условиях прохождения состава.

При изложении всех отделов учтен опыт проработки прочитанного со студентами, в связи с чем все теоретические выводы освещены примерами.

Часть экземпляров издана для студентов Строительного факультета, без главы о расчете отверстий искусственных сооружений, так как этот отдел на Строительном факультете входит в программу других дисциплин.

Хотя издаваемый труд имеет своей ближайшей целью дать пособие студентам МИИТ'а для усвоения прочитанного, тем не менее изложенное в настоящем труде будет, по всей вероятности, необходимо инженерам и техникам, занимающимся теми же вопросами в практическом их применении.

Считаю своим долгом выразить благодарность глубокоуважаемому Пантелеймону Ивановичу, инженеру Пантелеву за сотрудничество при составлении некоторых глав настоящего труда.

I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

§ 1. Сухопутные, водные и воздушные сообщения.

Пути сообщения, в зависимости от стихий, в пределах коих происходит движение, подразделяются на 1) сухопутные, 2) водные и 3) воздушные.

В сухопутных сообщениях для возможности передвижения приходится устраивать искусственное полотно, насыпи и выемки для шоссе, грунтовых и железных дорог, или же устраивать искусственные сооружения (эстакады, тоннели и т. п.).

Водные сообщения представляют поверхность (реки и моря), по которой осуществляется передвижение, при чем иногда приходится приводить реки искусственно в судоходное состояние.

Наконец, воздушные сообщения не требуют никаких устройств для пути, по которому следуют аэропланы, дирижабли и т. п.

Передвижение по путям сообщения может осуществляться:

- а) посредством самодвижущихся единиц, или
- б) посредством тяги, т.-е. двигатель тянет ряд погруженных экипажей или вагонов.

Самодвижущимися единицами для грунтовых и обыкновенных дорог являются: люди, переносящие грузы; животные, переносящие груз вьюком, автомобили.

На железных дорогах самодвижущимися единицами являются дрезины, автомотриссы и т. п.

Обычно передвижение на шоссе и грунтовых дорогах осуществляется тягой; точно также на жел. дорогах обычным способом передвижения является тяга, а именно паровоз тянет вагоны.

На внутренних водных путях движение осуществляется самодвижущимися единицами (пароходы, суда), но применяется также и тяга; передвижение по морям осуществляется почти исключительно самодвижущимися единицами.

Воздушное сообщение в настоящее время осуществляется исключительно самодвижущимися единицами.

Таким образом, основными способами передвижения являются:

Для сухопутных сообщений—тяга,
Для водных—самодвижущиеся единицы и тяга,
Для воздушных—самодвижущиеся единицы.

По роду самих двигателей их можно подразделить на:

- 1) естественные двигатели (вода, ветер, сила тяжести),
- 2) живой двигатель (человек, лошадь, верблюд и др.),
- 3) механический двигатель (паровоз и т. п.).

На сухопутных сообщениях естественные двигатели имеют применение очень редко; передвижение вагонов на небольшие расстояния или при маневровых—силой тяжести (сортировочные горки); устройство саней с парусами для использования силы ветра преследует спортивные цели.

На обыкновенных дорогах передвижение живыми двигателями (лошадьми) у нас является наиболее обычным; на железных дорогах обычным двигателем является механический (паровоз).

Таким образом, на сухопутных сообщениях применяются механические, живые и в редких случаях естественные двигатели.

На водных путях в прежнее время основными двигателями были естественные; парусные суда использовали силу ветра, а плоты и баржи—течение рек; тяга людьми и лошадьми имеет применение в настоящее время и на водном транспорте, но основным двигателем следует считать двигатель механический.

Воздушный транспорт пользуется механическими двигателями; живые двигатели совершенно исключаются, что же касается использования силы ветра, то естественной силой ветра передвигаются планеры, но они имеют по преимуществу спортивные цели.

Таким образом, на трех основных путях сообщения имеют применение следующие двигатели:

Путь сообщения.	Род двигателей.		
	Естественные.	Живые.	Механические.
Железные дороги	Редко	Редко	Обычно
Обыкновенные дороги.	Редко	Обычно	Часто
Речные сообщения	Часто	Редко	Обычно
Морские сообщения	Редко	Н е т	Обычно
Воздушные сообщения.	Редко	Н е т	Обычно

Следует иметь в виду, что каждый из трех родов путей сообщений имеет определенные экипажи для передвижения; поэтому при переходе с одного вида путей сообщения на другой нужна пересадка пассажиров или перегрузка грузов; исключения из этого правила составляют:

1) Перевозка в особых судах целых составов поездов через узкие проливы, т.-е. в данном случае осуществляется перевозка без перегрузки;

2) Устройство экипажей, которые могут передвигаться в двух стихиях; например, гидроплан, который может и летать и плавать.

§ 2. Сухопутные сообщения. Понятие о силе тяги и сопротивлении.

Переходя к сухопутным сообщениям, на которых применяется преимущественно тяга, надлежит иметь в виду следующее: двигатель сам по себе имеет определенную присущую ему силу тяги; передать эту силу тяги передвигаемым повозкам он может лишь в том случае, если произведение его веса на коэффициент сцепления между поверхностями соприкосновения двигателя и поверхности, по которой он движется, будет равен или более силы тяги.

Пусть будем иметь:

P —вес двигателя (для паровоза это будет сцепной вес, т.-е. давление на спаренные оси);

f —коэффициент сцепления между ходовыми устройствами двигателя и поверхностью; для лошади—коэффициент трения между подковами и одеждой дороги, для паровоза—между движущимися (спаренными) колесами паровоза и рельсами;

P_g —сила тяги, которую может дать двигатель,—тогда:

если $Pf > P_g$ (1)

то сила тяги P_g может быть передана повозкам, если же

$Pf < P_g$ (2)

то может быть передана лишь сила тяги Pf ; остальная часть силы тяги $P_g - Pf$ не сможет быть использована; указанное обстоятельство наблюдается во время гололедицы, когда лошадь не может везти груз из-за недостатка трения между ее копытами и обледеневшей поверхностью пути следования. В аналогичном случае колеса паровоза буксуют.

Соппротивление движению на единицу веса или удельное сопротивление выражается в кгр. на 1 тонну.

При движении по прямому горизонтальному пути удельное сопротивление показано в таблице I в кгр. на 1 тн.

Таблица I.

Наименование путей сообщения или род одежды дороги.	Удельное сопротивление в кгр. на 1 тн.	Наименование путей сообщения или род одежды дороги.	Удельное сопротивление в кгр. на 1 тн.
Дорога песчаная . .	150	Деревянн. мостовая.	15
Дорога земляная . .	100	Асфальт. мостовая.	8
Наезжен. земл. дор.	50	Санная дорога . .	30
Шоссе	30	Лед	10
Плохая мостовая . .	40	Железная дорога . .	2
Хорошая мостовая . .	20	Каналы	0,5

Для паровоза дается сила тяги либо на крюке (и тогда вес паровоза и тендера не принимается в расчет при исчислении веса состава поезда), либо же дается сила тяги, развиваемая

паровозом, и тогда вес паровоза и тендера принимается в расчет.

Из курса физики по отделу движения известно, что для под'ема экипажа по уклону, для коего величина

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{s} = i \dots \dots \dots (3)$$

где h — высота, а s — заложение, величина сопротивления в кгр на тонну веса равняется числу тысячных под'ема.

Обозначим через:

P —вес двигателя (паровоза и тендера);

f —коэффициент сцепления, зависящий от рода двигателя и поверхности, по которой он движется (для паровоза около 1/5,5);

Q —вес подлежащих передвижению повозок;

w —удельное сопротивление на горизонтальном пути в кгр/тн.;

i —число тысячных предельного под'ема.

Пусть сила тяги паровоза 15000 кгр., $P=125$ тн., $w=2$ и $i=8$; определим вес поезда. Будем иметь:

$$(P+Q)(w+i) = 15000 \dots \dots \dots (4)$$

Откуда:

$$Q = \frac{15000 - P(w+i)}{w+i} = \frac{15000}{w+i} - P = 1375 \text{ тн.}$$

или около 80.000 пуд.

Для увеличения значения силы тяги P весьма важно увеличить значение f .

Уменьшение w имеет тем большее значение, чем меньше i (предельный под'ем). В настоящее время удельное сопротивление поезда w определяется по известной формуле Балдвина:

$$w = 1,5 + \frac{v}{20} \dots \dots \dots (5)$$

где v — скорость в км/час.

Сопротивление это можно значительно уменьшить применением роликовых подшипников. Поэтому на жел. дорогах с величиной предельного под'ема в 0,003 — 0,004, т.-е. на сверхмагистральных, уменьшение w имеет большое значение.

Соппротивление для роликовых подшипников может быть выражено формулой:

$$w = 1,01 + 0,0002v^2 \dots \dots \dots (6)$$

Пусть $i = 0,003$ и $v = 30$, тогда:

При обыкн. подш. $w+i=3+1,5+\frac{30}{20}=3+3=6$

При ролик. подш. $w+i=3+1,01+0,0002v^2=3+1,18=4,18$, т.-е. в первом случае сопротивление от под'ема равно сопротивлению на горизонтальном прямом пути, а во втором случае последнее составляет лишь 40% от сопротивления на под'еме.

Пусть $i = 0,008$ и $v = 10$, тогда:

При обыкн. подш. $i+w=8+1,5+\frac{10}{20}=8+2=10$

При ролик. подш. $i+w=8+1,01+0,0002v^2=8+1,03=9,03$.

Разница для $w + i$ здесь значительно меньше.

§ 3. Живые двигатели. ¹⁾

Живые двигатели отличаются большей приспособленностью к условиям транспорта. В дальнейшем из числа живых двигателей рассмотрим человека и лошадь.

Человек. Человек может нести груз на весу, в руках: в этом случае вес груза целиком воспринимается мускульной силой руки. Если вес груза увеличивается, то груз переносится вьюком на спине; в этом случае груз располагается около центра тяжести человека и поэтому распределение груза соответствует естественному распределению веса человеческого тела. При перемещении груза животными груз всегда навьючивается около ц. т., так как при этом напряжение мускулов соответствует нормальному. Если вес груза еще увеличивается, то груз располагается на особой повозке и груз передвигается толканием или, чаще, тягой.

¹⁾ Так как между механической тягой и тягой живыми двигателями имеется много общего, находим нужным дать самые общие данные для живых двигателей.

Работа при передвижении груза зависит от веса груза, пути перемещения в 1 сек., времени, в течение которого живой двигатель может работать. Продолжительность работы живого двигателя ограничивается необходимостью отдыха.

Между скоростью, длиной пути и грузом существует общая зависимость; чем больше скорость, тем меньше груз и обратно.

Если обозначить для живого двигателя через:

P_H — среднее нормальное усилие,

P — действительное усилие,

v_H — среднюю норм. скорость,

v — действительную скорость,

t_H — среднюю норм. продолжительность работы,

t — действительную продолжительность работы,—

то связь между указанными величинами выражается следующей формулой Машека:

$$\frac{P}{P_H} + \frac{v}{v_H} + \frac{t}{t_H} = 3 \dots \dots \dots (7)$$

Из этой формулы можно получить следующие частные случаи:

1) Для $P = 0$ и $v = v_H$; $T = 2 t_H$; т.-е. при работе с весьма малым усилием время работы равно $2 t_H$;

2) Для $P = 0$ и $T = 0$, $v = 3 v_H$, т.-е. скорость в три раза больше по сравнению с нормальной.

3) Для $v = 0$, $t = 0$, $P = 3 P_H$.

Вследствие особенностей устройства организма и мускульной силы, человек и животные не переносят непрерывного, хотя бы и слабого, напряжения мускулов, свободно перенося большое напряжение, но при условии прерывности.

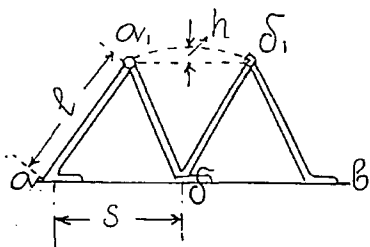
Человек, если стоит, то опирается то на одну, то на другую ногу; лошадь обыкновенно стоит лишь на трех ногах и одна нога отдыхает (одна из задних ног).

Итти без ноши легче, чем стоять.

При движении человек ¹⁾ и животные последовательно нарушают и восстанавливают равновесие. Центр тяжести человека

¹⁾ См. «Живые двигатели» проф. Горячкина.

расположен довольно высоко; когда человек выставляет вперед ногу, то теряет равновесие, центр тяжести опускается и человек начинает падать. В конце падения (чер. 1) при положении ноги в a_1b или b_1b , нога встречает землю; тело по инерции продолжает движение и центр тяжести при передвижении ноги из положения a_1b переходит в положение b_1b , поднимается и вновь опускается.



Чер. 1.

Если назовем через:

s — длину шага человека,

l — длину ноги,

h — высоту поднятия центра тяжести,

то:

$$h = \frac{s^2}{8l} \dots \dots \dots (8)$$

Обыкновенно длина шага равна $\frac{2}{3} l$

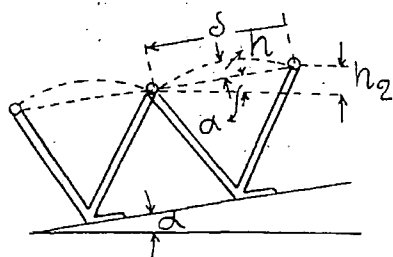
и тогда:
$$h = \frac{s^2}{12} \dots \dots \dots (9)$$

т.е. поднятие ц. т. равно одной двенадцатой шага человека.

Длина шага меняется от 0,50 до 0,70 м. и поднятие ц. тяжести около 4—6 см.

Человек делает в секунду от 2—2½ шага и в час проходит 4—6 км.

Предельная скорость пешехода—6 км.



Чер. 2.

При ходьбе по под'ему под углом α , кроме под'ема и опускания центра тяжести человека, имеет место под'ем на величину h_2 (чер. 2).

$$h_2 = s \sin \alpha \dots \dots (10)$$

Во время под'ема ц. т. на величину h происходит под'ем на величину $\frac{h_2}{2}$ по

под'ему и полный под'ем h_1 будет:

$$h_1 = h + \frac{h_2}{2} = \frac{s^2}{8l} + \frac{s}{2} \sin \alpha \dots \dots \dots (11)$$

Легче всего спускаться, если подъем ц. т. человека h будет равен $\frac{h_2}{2}$, т. е.:

$$h_1 = 0 = h - \frac{h_2}{2} \text{ и тогда, имея в виду, что } \frac{s}{l} = \frac{2}{3},$$

получим:

$$\frac{s^2}{8l} = \frac{s}{2} \sin \alpha \text{ и } \sin \alpha = \frac{s}{4l} = \frac{1}{6} \text{ и } \alpha = 9^\circ 30' \quad (12)$$

Спуск (скат) с наклоном менее $1/6$ будет уменьшать сопротивление при ходьбе; это уменьшение будет иметь место до величины спуска в $1/6$, когда сопротивление всецело поглотится спуском;

Спуск не свыше $1/6$ называется безвредным; при дальнейшем увеличении спуска надо затрачивать некоторую энергию, во избежание развития большой скорости, спуск свыше $1/6$ будет для человека вредным. Для каждого экипажа, для разных типов одежды дороги, существует свой безвредный спуск.

Пусть поезд идет по спуску со скоростью 30 км.; по формуле (5), сопротивление равно 3 и все спуски до 0,003 будут безвредными, а свыше 0,003—вредными. При увеличении скорости увеличится величина безвредного спуска.

Работа в единицу времени измеряется произведением усилия (P) по направлению движения на перемещение; перемещение равно произведению скорости (v) на время (t), поэтому работа k равна произведению усилия на скорость и на время или:

$$k = Pvt \quad (13)$$

Работа выражается килограммометрами или пудо-футами; 75 кгр/метр. представляет собой ту работу, которую может выполнить в секунду хорошая лошадь.

Работа в 75 кгр/метр. или 15 пудо-фут называется лошадиной силой (НР).

Человек может развить тяговое усилие, пользуясь лишь усилием мускулов рук; если тяговое усилие должно быть больше, то человек развивает усилие, пользуясь весом своего тела, и, кроме того, увеличивает это усилие становым усилием.

Тяговое усилие, развиваемое мускульной силой рук по горизонтальному направлению, равно $\frac{3}{4}$ пуда, при тяге гужем или при бичевой тяге среднее усилие доходит до $1\frac{1}{2}$ пудов, наибольшее—до 3 пудов.

При сплаве на 1000 пудов груза считается 1 человек при скорости $1\frac{1}{2}$ вер. в час.

Для того, чтобы человек мог развить такую силу тяги, необходимо, чтобы между ногой и опорой ноги был достаточный коэффициент трения; при санной тяге иногда этого нет.

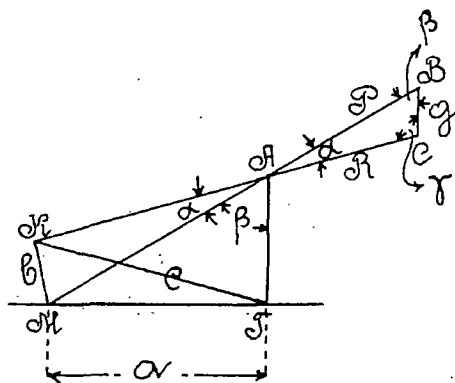
Весьма часто для увеличения упора делаются специальные устройства.

Сила тяги, развиваемая человеком, составляет некоторую долю (f) его веса; даже при участии станového усилия человек не может развить силы тяги больше веса своего тела.

Для того, чтобы развиваемое человеком при весе его в P кгр. тяговое усилие fP могло передаваться, необходимо, чтобы коэффициент трения f_1 между ногами и поверхностью, по которой идет человек, было не менее f .

Если $f_1 < f$, то человек будет скользить и сможет развить тяговое усилие лишь f_1P .

Из всего изложенного следует, что для передвигаемого груза надо уменьшить коэффициент трения между грузом (или повозкой) и поверхностью, по которой передвигается груз, а для двигателя, наоборот, коэффициент сцепления надо возможно увеличить.



Чер. 3.

ное усилие— G в виде части веса человека, тогда будем иметь:

$$Rb = Ga \text{ или } \frac{R}{a} = \frac{G}{b} \dots \dots \dots (14)$$

$$\frac{P}{\sin \gamma} = \frac{R}{\sin \beta} = \frac{G}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (15)$$

Далее будем иметь:

$$\begin{aligned} \angle KMT &= 180^\circ - (\alpha + \beta) = \angle ACB \\ \frac{R}{\sin \beta} &= \frac{G}{\sin \alpha} \text{ и } \frac{R}{G} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \\ &= \frac{a}{b} \frac{R}{a} = \frac{G}{b} = \frac{P}{c}, \end{aligned}$$

и далее, называя длину человека через l , получим:

$$a = l \sin \beta \dots \dots \dots (16)$$

Тяговое усилие тем больше, чем больше a , т.-е. чем больше наклоняется человек и чем больше l , т.-е. рост человека (в точке M —ноги, а в точке A —прикрепление лямки) и чем больше G , т.-е. вес человека.

Лошадь. Работа лошади достигает в сутки 2.000.000—3.000.000 кгр/метр. Наибольшая величина работы соответствует некоторой средней скорости, среднему усилию и средней продолжительности работы.

Лошадь может работать вьюком, неся груз на себе, но выгоднее работа, если лошадь тянет груз.

Работа вьюком применяется в двух случаях:

1) Когда сопротивление движению настолько велико, что развиваемое тяговое усилие может перемещать незначительный груз. Так, например, при отсутствии дорог или в пустынях (Сахара) груз перемещается вьюком при помощи караванов. К такому перемещению особенно приспособлены верблюды;

2) Когда, вследствие крутых подъемов в гористых местностях, сопротивление настолько возрастет, что выгоднее перемещать груз вьюком.

В нормальных условиях применяется тяга.

Нагрузка вьюком равна 7—10 пуд. при небольшой скорости; при увеличении скорости нагрузка должна уменьшаться. 1) Лошадь несет в 6—8 раз больше человека, а везет в 8—10 раз больше человека.

Сила тяги лошади равна около $\frac{1}{5}$ ее веса. По такой силе тяги следует рассчитывать предельные подъемы дорог или предельные нагрузки экипажей для данного предельного подъема.

Следует, однако, иметь в виду, что среднее тяговое усилие лошади не должно быть более $\frac{1}{10}$ ее веса; на отдельных

1) Наездники на скачках должны тренировать себя, чтобы вес не превосходил нормы, иначе лошадь не может развить необходимой скорости.

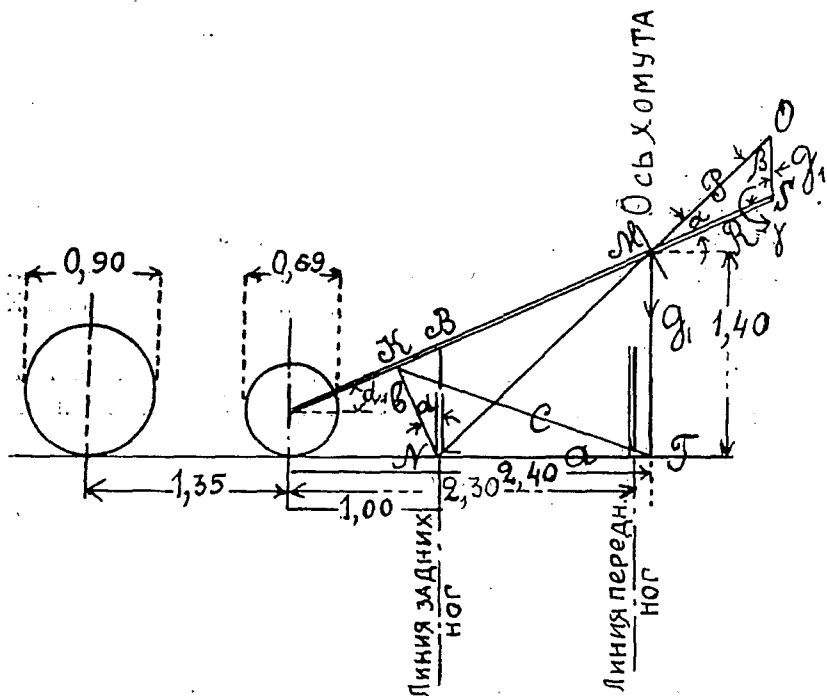
трудных под'емах лошадь может развить тяговое усилие в 2—3 раза больше против $\frac{1}{5}$ ее веса.

В виде мгновенного усилия лошадь может развить усилие, равное ее весу.

Груз, который лошадь может везти, уменьшается с увеличением скорости; рабочая лошадь едет со скоростью 3,5—4 вер., почтовая 10—15 вер. в час, при коротких расстояниях до 50—60 вер. в час (на скачках и бегах).

Центр тяжести лошади расположен ближе к передним ногам, так что на передние ноги передается $\frac{5}{9}$ ее веса, а на задние— $\frac{4}{9}$. Налегая избытком своего веса, лошадь развивает тяговое усилие; при недостаточности тягового усилия лошадь инстинктивно упирается задними ногами, развивая становое усилие и увеличивая давление веса своего тела на хомут.

Пусть M будет середина хомута (чер. 4);



Чер. 4.

R —сопротивление экипажа;

P —сила тяги, развиваемая лошадью;

G_1 —доля веса лошади, принимающая непосредственное участие в налегании на хомут.

Сила P проходит через опору задних ног; сила эта должна быть почти перпендикулярна к хомуту. Угол наклона хомута—около 70° .

Из треугольника MOS следует, что:

$$\frac{P}{\sin \gamma} = \frac{G_1}{\sin \alpha} = \frac{R}{\sin \beta} \dots \dots \dots (17)$$

Так как моменты сил относительно точки N должны быть равны нулю, то:

$$Rb = G_1 a \text{ или } \frac{R}{a} = \frac{G_1}{b} \dots \dots \dots (18)$$

Но $b = MN \sin \alpha$ и $a = MN \sin \beta$, откуда $\frac{b}{\sin \alpha} = \frac{a}{\sin \beta}$ и далее:

$$\frac{G_1}{b} = \frac{R}{a}$$

Называя KT через c , получим:

$$\frac{P}{c} = \frac{G_1}{b} = \frac{R}{a} \dots \dots \dots (19)$$

Из ур. (19) видно, что: 1) усилие P , развиваемое лошадью, и доля веса лошади G_1 тем меньше, чем меньше b и c , или чем ниже опущено прикрепление оглоблей к колесам, т.-е. чем меньше радиус переднего колеса (отсюда ясна необходимость иметь радиус переднего колеса меньшим, чем радиус заднего колеса); 2) равнодействующая сил P и G_1 —сила тяги R , равная сопротивлению повозки, тем больше, чем больше расстояние между передними и задними ногами лошади.

Из урavn. (19) видно, что зимой, когда оглобли прикреплены к полозьям саней, величина R уменьшается и условия передвижения более благоприятны.

По чер. 4, будем иметь:

$$\operatorname{tg} \alpha_1^1) = \frac{1,40 - \frac{0,65}{2}}{2,4} = 0,42 \text{ и } \alpha_1 = 22^\circ; \text{ хомут под углом } 68^\circ;$$

$$MN = \sqrt{1,4^2 + 1,4^2} = 1,97 \text{ км.};$$

$$BN = 0,325 + \frac{1,40 - 0,325}{2,4} = 0,67 \text{ м.};$$

$$b = BN \cos 22^\circ = 0,62 \text{ м.};$$

¹⁾ Угол наклона оглоблей к горизонту.

$$c = \sqrt{1,4^2 + 0,62^2 + 2 \cdot 1,4 \cdot 0,62 \cos(90^\circ + 22^\circ)} = 1,73;$$

$$\frac{R}{a} = \frac{G_1}{b} = \frac{P}{c} \text{ или } \frac{R}{1,4} = \frac{G_1}{0,62} = \frac{P}{1,73}; \text{ если } P = 0,08 \text{ тн. (5 п.),}$$

то $G_1 = \frac{0,62}{1,73} \cdot 0,08 \text{ тн.} = 0,028 \text{ тн. или } 1,7 \text{ пуда.}$

Следует иметь в виду, что при движении лошадь упирается задними ногами; если упор недостаточно устойчив и если нога скользит, то лошадь может развить лишь такое тяговое усилие, которое соответствует коэффициенту трения между ногами лошади и плоскостью, по которой лошадь передвигается.

Зимой, когда после оттепели снег бывает покрыт слоем льда, весьма часто лошадь не может дать необходимой тяговой силы.

Выше для железных дорог было указано, что чем меньше подъем, тем лучше (т.е. с меньшим сопротивлением) должна быть повозка.

В отношении проезжих дорог надо еще отметить, что чем лучше одежда дороги, тем меньше должен быть уклон и тем с меньшим сопротивлением повозка.

На плохих полевых дорогах вполне применимы телеги на деревянных осях, на хороших асфальтовых дорогах должны быть приняты все меры к уменьшению сопротивления движению повозки (увеличение диаметра колес и железные оси).

Обозначим через:

P —вес повозки с грузом,

G —вес лошади,

W —полное сопротивление,

f —коэффициент трения, характеризующий сопротивление повозки,

i —предельный подъем; тогда:

$$W = fP + (P+G)i \text{ и } P = \frac{W-Gi}{f+i} \dots \dots \dots (20)$$

Пусть лошадь может вести выюком 0,2 тн. и сила тяги ее $W=0,08$ тн., вес—0,4 тн.; пусть $f=0,05$, вес повозки—0,1 тн. Определим, при каком подъеме выгоднее перевозить груз выюком.

Вес повозки и того, что лошадь может везти выюком, равен: $0,1 + 0,2 = 0,3 = P$;

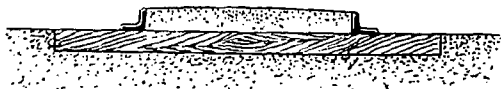
$0,3 = \frac{0,08 - 0,4i}{0,05 + i}$ или $i = 0,09$, т.е. для подъемов 0,09 и круче выгоднее везти выюком.

§ 4. История возникновения жел. дорог.

• Железные дороги исторически являлись результатом последовательного и упорного труда ряда лиц, которые постепенным видоизменением конструкции пути, по которому следовали повозки, стремились к уменьшению коэффициента трения.

Сначала для уменьшения трения в Англии применяли продольные брусья, покрытые железными полосами.

Далее, в целях получения направляющих граней для движения повозок, были предложены в конце XVIII столетия чугунные уголки (чер. 5).



Чер. 5.

При таком устройстве пути горизонтальные полки уголков засорялись и сопротивление движению увеличивалось; расстояние между направляющими вертикальными полками уголков соответствовало расстоянию между колесами в $5' = 1524$ мм.

Дальнейшее усовершенствование заключалось в том, что направление движения передано краинам колес, которые расположены были внутри рельс.

Так как расстояние между колесами было $5'$, то при устройстве направляющих реборд внутренняя колея оказалась меньше на ширину головок двух рельс, а именно равнялась $4' 8\frac{1}{2}''$ или 1435 мм. В конце XVIII и начале XIX столетий построено много дорог с применением рельс Outram'a, поэтому дороги эти стали называться Outramway'м или сокращенно—Tramway'м, откуда название трамвай.

Все вагоны передвигались сначала лошадьми; после того, как изобретение Watt'a дало блестящие результаты в деле устройства постоянных котлов, стали делать попытки устройства самодвижущихся паровых машин.

Первая дорога, применившая в 1825 году паровоз, построенный на заводе в Нью-Кестле, была дорога от Стоктон в Дарлингтон. Эта дорога считается первой железной дорогой.

Днем основания жел. дорог считается 27 сентября 1825 г., так как в этот день был пущен первый пассажирский поезд на линии Стоктон—Дарлингтон.

Возникновению своему и дальнейшему своему развитию железные дороги всецело обязаны Георгу Стефенсону, сыну углекопа, родившемуся в 1781 г., и сыну его Роберту.

Ближайшей целью Стефенсона было улучшение подачи угля в копях вблизи Нью-Кестля, где применялась лошадиная тяга; к 1823 г. Стефенсон уже построил 16 паровозов для нужд угольной промышленности в 7—8 лош. сил. В 1823 г. Стефенсон, в качестве заведывающего постройкой дороги Стоктон—Дарлингтон, спроектировал и построил паровоз, который он назвал «Locomotion» (Локомошен), и впервые с таким паровозом был пущен там поезд—27 сентября 1825 г.

Первый поезд имел 34 вагона, при чем шесть вагонов было с углем, остальные вагоны везли около 600 чел. пассажиров. На одном из вагонов был красный флаг с надписью:

«Periculum privatum-utilitas publica».

На дороге Стоктон—Дарлингтон, входящей в состав Северо-Восточных дорог, празднование столетия состоялось 1-го июля, чтобы дать возможность принять участие в праздновании членам Международного Железнодорожного Конгресса.

Был пущен такой же поезд, как и 100 лет тому назад, при чем во главе поезда ехал машинист в костюме, соответствующем 1825 г. и сигнализировал точно так же, как это было установлено 100 лет тому назад; публика в поезде была в костюмах времен 1825 года.

Первое время опасались паровозов и поэтому поезда передвигались лошадиной тягой¹⁾; особенное опасение вызывали пасс. поезда, для которых некоторое время применялась конная тяга в то время, как для товарных поездов на тех же дорогах применялись паровозы; отчасти применение конной тяги объяснялось значительным расходом пара.

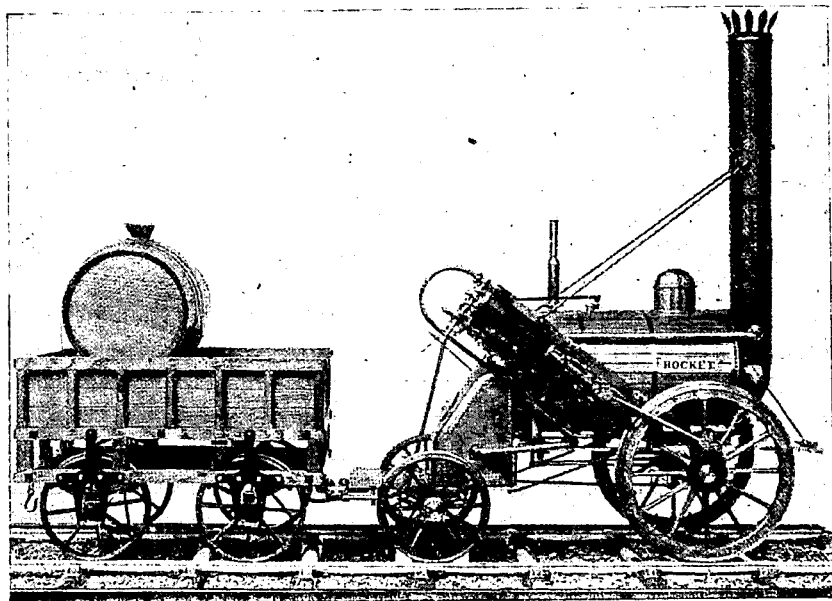
После постройки дороги Ливерпуль—Манчестер, оконченной постройкой в 1830 г., паровозы почти окончательно вытеснили конную тягу, так как Георгу Стефенсону и его сыну Роберту удалось спроектировать весьма удачно паровоз, названный им Rocket (ракета), см. чер. 6.

¹⁾ Имеется указание, что при следовании поезда с конной тягой под уклон лошади отцеплялись и помещались в особый вагон, входящий в состав поезда.

Основные данные для паровоза Rocket и одного из наиболее мощных современных американских паровозов (на жел. дороге Эри) приведены в нижеследующей таблице:

Таблица III.

НА И М Е Н О В А Н И Е.	Р а з м е р ы:	
	Rocket.	Жел. дор. Эри.
Площадь колосн. решетки m^2	0,55	8,4
Поверхн. нагрева m^2	19,8	783
Раб. вес t	4,5	387
Сцепной вес t	2	345
Давл. пара ($atm.$).	3,5	14,7
Давл. на ось t	2,25	30,5



Чер. 6.

Пассажирские вагоны первоначально мало отличались от обычных повозок, при чем не исключалась возможность (например, у нас при постройке быв. Царскосельской ж. д.) передвижения в обычных экипажах, поставленных на платформы.

В первое время пасс. движение совершалось с большой осторожностью; ночью, вообще говоря, движения не было.

Первыми дорогами, установившими ночное движение на дальние расстояния, были Северные дороги Германии, где ночное движение было установлено в 1844 году.

Товарные вагоны были первоначально в виде угольных вагонов, и лишь с течением времени перешли к типу вагонов, соответствующему другим видам грузов.

В первое время принимаемые меры безопасности движения носили примитивный характер; так, напр., раз'езды устраивались на таком расстоянии друг от друга, чтобы поезд, находящийся на одном раз'езде, видел другой раз'езд, так что если на участке до соседнего раз'езда встречного поезда нет, то поезд продолжает свое движение.

Сигнализация осуществлялась не семафорами, а в первое время человеком, который сигнализировал руками:

- а) Две поднятые вверх руки—сигнал «стой»,
- б) Одна поднятая вверх рука—сигнал «осторожно»,
- в) Одна протянутая горизонтально рука—сигнал «путь свободен».

В первое время предельные под'емы были очень пологи (не круче 0,006), а при более крутых под'емах применялась канатная тяга с применением стационарной паровой машины у вершины под'ема (имеются примеры применения этой тяги при под'еме в 0,010—0,012).

В России первая дорога от б. Петрограда до Павловска с колеей в 6' была построена в 1837 году; вторая дорога была Варшаво-Венская, при чем, в целях возможности передачи вагонов без перегрузки, она была построена с колеей в 4' 8½"; начата она была постройкой в 1839 г. и на ней сначала предполагено было применить лошадиную тягу, но постройка была осуществлена в предположении паровой тяги, при чем закончена постройкой эта дорога в 1848 г.

Третьей дорогой в России была б. Николаевская, ныне Октябрьская, дорога, законченная постройкой в 1851 г., при чем ширина колеи была принята в 5', каковая колея и была установлена и для всех дальнейших строящихся дорог.

В России некоторая задержка в постройке жел. дорог произошла в связи с Севастопольской кампанией; однако после окончания войны стали строить жел. дороги очень интенсивно.

За границей, после удачных результатов постройки дороги Ливерпуль—Манчестер, в Англии, все государства стали строить

дороги, а именно: в промежутке между 1830 и 1840 годами построены первые дороги в Америке (1830 г.), Франции (1832 г.), Бельгии (1835 г.), Германии (1835 г.), России (1837 г.), Австрии (1838 г.), Голландии и Италии (1839 г.); остальные государства (Дания, Испания, Португалия, Швейцария, Норвегия и Швеция) приступили к постройке жел. дорог между 1840—1855 гг.

§ 5. Протяжение жел. дорог в частях света и отдельных государствах.

Общее протяжение железных дорог на земном шаре в 1920 году составляло 1192065 км., а в 1917 году—1137369 км.; таким образом, ежегодное увеличение протяжения составляет около 18000 км.

Увеличение в довоенное время было: в 1913 г.—22700 км. в 1912 г.—27000 км. и в 1911 г.—24300 км.

Протяжение жел. дорог приведено в табл. IV; в той же таблице для частей света показано протяжение дорог в % от общего протяжения дорог земного шара.

Для того, чтобы судить, насколько обслужена территория и народонаселение железными дорогами, пользуются следующими измерителями:

1) Отношение m протяжения жел. дорог в км. на 100 кв. км.; называя через l —протяжение в км., ω —площадь в кв. км. и λ_1 —измеритель, получим:

$$\lambda_1 = \frac{100l}{\omega} \dots \dots \dots (21)$$

2) Отношение m протяжения l к 10000 жителям; называя этот измеритель через λ_2 и называя число жителей через n и плотность через δ , получим:

$$\lambda_2 = \frac{10000l}{n} \dots \dots \dots (22)$$

$$\delta = \frac{n}{\omega} \dots \dots \dots (23)$$

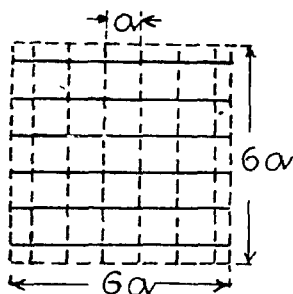
или вставляя (23) в (22):

$$\lambda_2 = \frac{10000l}{\delta\omega} \dots \dots \dots (24)$$

3) Если территория обширна, а плотность населения невелика, то коэффициент λ_1 получается небольшим, а λ_2 — значительным; для того, чтобы оценить обслуженность территории и населения, вводится так называемый коэффициент обслуженности — λ_3 , представляющий произведение коэффициентов λ_1 и λ_2 , т. е.:

$$\lambda_3 = \lambda_1 \cdot \lambda_2 = \frac{100 l}{\omega} \times \frac{10000 l}{\delta \omega} = \frac{100 \lambda_1^2}{\delta} \dots (25)$$

4) Для того, чтобы яснее представить обслуженность территории, можно представить данное государство площадью



Чер. 7.

ω кв. км. в виде квадрата площади ω ; далее, всю сеть жел. дорог — протяжением l можно принять 1) покрывающей большой квадрат (чер. 7) в виде малых квадратов со сторонами длиной a км. Пусть число малых квадратов будет m (по чер. 7 будем иметь $6 \times 6 = 36$ квадратов, из коих 25 целых, $4 \times 5 = 20$ полуквадратов и $4 \times 1 = 4$ четвертей квадратов), тогда величина $\lambda_1 = a$ — стороне квадрата, будет измерителем:

$$\omega = ma^2 \dots (26)$$

$$l = 2am \dots (27)$$

Деля (26) на (27) получим:

$$\frac{\omega}{l} = \frac{a}{2} \text{ или } a = \frac{2\omega}{l} = \lambda_1 \dots (28)$$

В ниже помещенной таблице V приведены данные для указанных четырех измерителей для пяти стран света, а в табл. VI — для главнейших государств Европы, Северо-Американских Соединенных Штатов и Сибири 2).

1) Такой способ оценки обслуженности территории жел. дорогами предложен проф. В. Н. Образцовым.

2) Таблицы V и VI заимствованы из труда проф. К. А. Оппенгейма «Проектирование жел. дорог» и нами дополнены в отношении четвертого измерителя.

Т а б л и ц а IV.

Наименование частей света или государств.	Протяжение в км.	Всего в частях света.
I. Е В Р О П А.		
Германия	58.148	
Австрия	6.326	
Чехословакия	13.644	
Венгрия	7.052	
Англия	39.262	
Франция	53.561	
Россия	58.477	
Финляндия	4.127	
Польша	15.829	
Литва	3.120	
Латвия	2.849	
Эстония	991	
Италия	20.118	
Бельгия	11.093	
Люксембург	525	
Норвегия	3.286	
Нидерланды	3.425	
Швейцария	5.345	
Испания	15.350	
Португалия	3.293	
Дания	4.335	
Швеция	15.061	
Югославия	8.955	
Румыния	11.678	
Греция	2.992	
Болгария	2.614	
Турция	1.000	
Проч. государства	3.232	
Всего в Европе		372.688 (32%)
II. А М Е Р И К А.		
Канада	62.584	
Соедин. Штаты	426.522	
Проч. государства	122.615	
Всего		611.791 (51%)
III. А З И Я.		
Азиат. Россия	15.763	
Китай	11.004	
Япония	14.835	
Остиндия	58.459	
Проч. государства	17.643	
Всего		117.704 (10%)
IV. А Ф Р И К А .		
V. А В С Т Р А Л И Я .		38.001 (3%)
Итого		1.192.065

Т а б л и ц а V.

Наименование.	Протяжение в км.					% от общ. про- тяжения.	Для 1923 года.					
	В 1830 г.	В 1840 г.	В 1850 г.	В 1920 г.	В 1923 г.		Площадь кв. км.	Число жителей в мил.	Измерители.			
									λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
Европа	382	3.707	23.853	372.688	379.991	31	8.922.100	412,5	4,3	9,2	39,6	47
Азия.	—	—	—	117.704	129.510	11	41.983.900	1063,1	0,3	1,2	0,4	648
Африка. . . .	—	—	—	51.881	59.674	5	20.798.700	103,2	0,3	5,8	1,7	697
Америка . . .	65	3.902	14.857	611.791	598.873	49	40.872.900	210,0	1,5	28,5	42,8	137
Австралия. .	—	—	—	38.001	47.682	4	7.992.200	13,3	0,6	35,7	21,4	335
Всего.	447	7.609	38.410	1.192.065	1.215.730	100	120.569.800	1802,1	1,0	6,7	6,7	198

Таблица VI.

Наименование.	Протяжение км.	Площадь кв. км.	Число жителей в мил.	Измерители:			
				λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
Англия	39.262	246.000	44,5	16,0	8,8	141	12,5
Франция	53 561	551.000	39,2	9,7	13,2	128	20,6
С. С. С. Р.	56.370	3 741.000	67,3	1,5	8,4	13	132,7
Италия	20.664	309.900	38,8	6,7	5,3	36	30,0
Бельгия	11.093	30.400	7,7	36,5	14,5	529	5,5
Испания	15.572	505.400	21,7	3,1	7,2	22	64,8
Норвегия	3.456	323.800	2,6	1,1	13,0	14	187,1
Швеция	15.378	448.500	6,0	3,4	25,6	87	58,2
С.-А. С. Штаты	404.200	9,389.000	106,1	4,3	38,1	164	46,5
Сибирь и Ср. Азиат. влад.	15.763	16.345 000	25,4	0,10	6,2	0,6	2074,0

§ 6. Классификация железных дорог.

Классификация жел. дорог может быть с разных точек зрения.

а) По ширине колеи. Различают дороги нормальной и узкой колеи. Что касается размеров ширины нормальной колеи, то принятая в Англии колея в $4' 8\frac{1}{2}'' = 1435$ мм. была принята в большинстве европейских государств и в Америке.

Наша колея в 5' называется русской колеей. В настоящее время это отличие в ширине нашей и заграничной колеи имеет большое неудобство; однако, при постройке первых жел. дорог строители и руководители государственной политики не только не предвидели возможности общей сети жел. дорог, покрывающей все государства, и желательность перехода поездов из одного государства в другое, но даже одна общая сеть в государстве не считалась возможной, что видно, например, из того, что у нас первая дорога (Павловская) была построена с шириной колеи в 6', вторая Варшаво-Венская—шириной колеи в $4' 8\frac{1}{2}''$ и, наконец, б. Николаевская—в 5'.

При постройке б. Николаевской жел. дороги вопрос о ширине колеи был предметом длительного обсуждения. Имеются два разнородных указания о тех соображениях, по которым ширина колеи была принята в 5', а именно:

1) по одним указаниям такая колея была принята потому, что технические руководители признавали заграничную колею недостаточной;

2) по другим—ширина колеи была принята в 5' по стратегическим соображениям, чтобы, в случае военных действий, нельзя было неприятелю использовать наши дороги.

Следует иметь в виду, что разница в ширине колеи дает преимущество стране, на которую наступают, но в случае наступления разница в ширине колеи вызывает затруднения при наступлении.

Разница в ширине колеи вызывает неудобства при значительной длине сухопутных границ, что же касается государств островных или омываемых в значительной степени морями, то для них разница в ширине колеи не представляет неудобств.

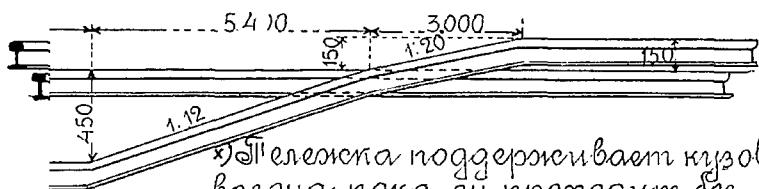
В частности имеются следующие размеры нормальной колеи в разных государствах: ширина колеи в Ирландии 5' 3",

в Остиндии—5' 6", в Испании—5' 6" (сухопутная граница только с Францией), в Японии—3' 6".

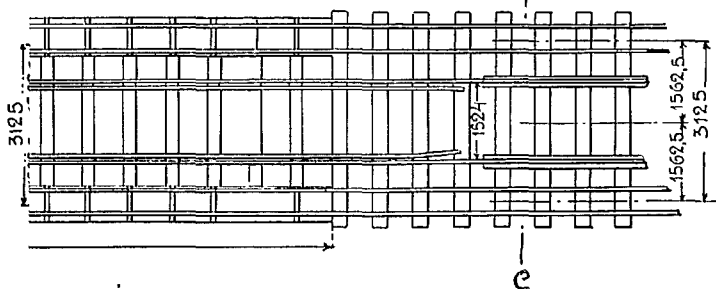
В России Ваошаво-Венская жел. дорога имела колею в

ЧЕРТЕЖ № 8.

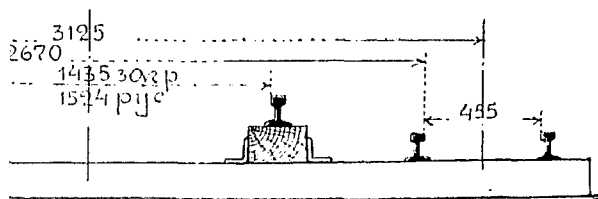
схема



** Пележка поддерживает кузов вагона, пока он проходит без колесных скатов акапаву*



врез по сд



гонов; при двухпутной линии для каждого направления движения имеется свой путь, поэтому пропускная способность двухпутной линии по крайней мере в два раза более, чем однопутной линии.

При двухпутном движении у нас принято правопутное движение, кроме участка Москва—Рязань и Ленинград—Кайлово; в Англии, Франции, Австрии и Венгрии движение левопутное. Левопутное движение признается некоторыми специалистами более желательным, так как машинист обычно стоит с правой стороны паровоза и лучше видит путь; однако, следует иметь в виду, что устройство сигнализации встречает меньше затруднений при правопутном движении.

Если на двухпутной линии имеется значительное количество поездов с равными скоростями и является необходимость в частом обгоне товарных поездов пассажирскими, то устраивают четыре пути, по два для каждого направления, при чем по одному пути следуют пассажирские поезда, по другому—товарные.

В том случае, если движение пассажирских поездов для одного направления сосредоточено в один период суток, а для другого—в другой период, что весьма часто бывает на пригородных участках жел. дорог, то возможно иметь один путь для пассажирского движения обоих направлений.

Так, например, Московско-Ярославская ж. д. для пригородного движения между Москвой и ст. Мытищи проектирует устройство третьего пути.

в) Классификация с точки зрения топографических условий местности. Чем благоприятнее условия местности, тем с меньшим уклоном и с большими радиусами закруглений можно протрассировать линию. В зависимости от топографических условий местности жел. дороги делятся:

- 1) Дороги в равнинной местности.
- 2) Дороги в холмистой местности.
- 3) Дороги в гористой местности и горные дороги, ведущие на горные вершины.
- 4) Дороги через горные хребты или перевальные дороги.

В виду того, что в России дороги перевальные и горные встречаются сравнительно редко, у нас ¹⁾ установлены две категории жел. дорог:

- 1) В равнинной и слабо-холмистой местности.
- 2) В сильно-холмистой и гористой местности.

¹⁾ Согласно классификации, установленной Научно-Техническим Комитетом НКПС.

г) Классификация по расположению пути относительно поверхности земли. С этой точки зрения различают дороги:

1) Наземные, которые располагаются на земляном полотне, с устройством лишь в местах пересечения водотоков и других дорог искусственных сооружений.

2) Надземные, устраиваемые на виадуках; например, в пределах городов, чтобы не стеснять уличного движения.

3) Подземные, идущие сплошь в тоннелях, что также обычно имеет целью не стеснять уличного движения.

4) В тех случаях, когда самое устройство эстакад невозможно или оно затрудняет уличное движение, приходится прибегать к устройству висячих дорог.

д) По роду энергии, применяемой для тяги поездов. Дороги, если не считать конной, канатной тяги и других родов энергии, применяемых редко, разделяются на:

1) дороги с паровой тягой и

2) дороги с электрической тягой,

3) дороги с двигателями внутреннего сгорания (тепловозы).

В настоящее время у нас применяется почти исключительно паровая тяга; кроме того, в ближайшее время ожидается применение, в виде опытов, тепловозов, т.-е. двигателей внутреннего сгорания.

Что касается электрической тяги, то в отношении этой тяги следует различать два отдельных случая ее применения:

1) в поездах дальнего следования, т.-е. электрификация линий;

2) электрификация пригородных участков.

Для поездов дальнего следования, в целях экономичности применения электрической энергии, требуется значительная густота движения (около 200—250 миллионов пудо-верст на версту в год); такого грузооборота не достигала ни одна из наших жел. дорог (Екатерининская имела в довоенное время грузооборот в 170 мил. пуд.); в пригородном сообщении, необходимая для экономичности электрификации густота движения скорее достижима.

Электрическая тяга имеет следующие преимущества:

1) большую скорость;

2) увеличение скорости, вследствие меньшей затраты времени на ускорение и замедление (для паровой тяги ускорение = $0,2 \text{ м/сек}^2$, для электрической— $0,9 \text{ м/сек}^2$);

3) не нужно везти топливо и воду;

4) в качестве топлива силовых станций может применяться местное топливо, тогда как для паровозов топливо должно быть хорошего качества;

5) при отсутствии топлива водная энергия может быть утилизирована гидроэлектрическими станциями (белый уголь);

6) при следовании поездов под уклон возможна посылка энергии в провода (так называемая рекуперация);

7) благодаря большей скорости движения получается экономия в подвижном составе и обслуживающем поезда персонале; кроме того, вместо паровозной бригады достаточно иметь одного машиниста;

8) нет необходимости устраивать водоснабжения для подачи воды в паровозы;

9) лучшие условия работы машиниста в электровозе по сравнению с паровозами, так как он работает в закрытом помещении;

10) отсутствие дыма, что особенно важно вблизи городов и в пригородном движении;

11) при применении мотор-вагонов в пригородном движении возможно менять состав поезда соответственно потребностям движения.

К отрицательным сторонам электрической тяги (особенно это относится к поездам дальнего следования) надлежит отнести:

1) невозможность пропуска паровозов по электрифицированным дорогам (отсутствие водоснабжения, топлива и т. п.);

2) при уничтожении или разрушении силовой станции движение по дороге неминуемо прекратится.

В настоящее время у нас и в Германии начали делать опыты по применению тепловозов. Утилизация топлива (нефти) достигает 20% и даже более, тогда как в паровозах утилизация топлива в три раза меньше.

Кроме экономии топлива, тепловозы дают следующие преимущества:

1) не требуется устройства водоснабжения в обычном для железных дорог масштабе, так как вода требуется только для охлаждения;

2) в местностях с плохой водой тепловозы особенно уместны;

3) большие пробеги, в виду более редкого набора топлива;
4) экономия в составе бригад, отсутствие дыма—составляют преимущество, общее с электровозами;

5) тепловозы могут вводиться постепенно, так как не требуют электрических станций;

б) с точки зрения военной, в отношении тепловозов надо иметь в виду следующее:

а) отсутствие станций с водоснабжением составляет преимущество тепловозов, по сравнению с паровозами;

б) отсутствие центральных электрических станций, электрических проводов является их преимуществом, по сравнению с электровозами;

в) невозможность применить какое-либо другое топливо, кроме нефти, требует для введения тепловозов на всей сети страны наличия достаточных собственных мест нефтерождений, при чем расположенных вне возможности захвата этих нефтерождений неприятелем. В силу этих соображений должна быть гарантия получения нефти при всяких условиях, и лишь при этих условиях введение тепловозов допустимо в общегосударственном масштабе;

г) тепловозы и паровозы могут ходить по той же дороге, если только имеется водоснабжение.

д) В зависимости от того, могут ли дорогами пользоваться все желающие или лишь отдельные лица, дороги делятся на дороги:

1) общего пользования, поддерживающие за установленную плату пассажирское и товарное движение между данными пунктами;

2) частного пользования, обслуживающие нужды отдельного предприятия, учреждения, завода и т. п.

ж) По государственному значению и с точки зрения обслуживания транзитного или местного движения, дороги делятся на четыре категории ¹⁾:

1) Магистрالی усиленного типа или сверхмагистрالی—транзитные линии, предназначенные для массовой перевозки грузов, при чем для определенных категорий грузов перевозки совершаются по особо удешевленному тарифу; грузооборот в

¹⁾ Согласно принятой Научно-Техническим Комитетом в 1922 г. классификации.

год для таких линий принимается в 500 мил. пудо-в'в. ¹⁾ в грузовом направлении. Предельный уклон не круче 0,004.

2) Магистралы нормального типа—однопутные или двухпутные линии, предназначенные, по преимуществу, для транзитных грузов. Грузооборот в год в грузовом направлении для этих линий принимается не менее 50 мил. пудо-в'в. ¹⁾ Предельный уклон не круче 0,009.

3) Магистралы облегченного типа—однопутные транзитные линии, транзитно-местные и местные линии.

Транзитно-местными линиями называются линии, имеющие преимущественно местное значение, но по обоим концам соединенные с транзитными линиями.

Грузооборот для магистралей облегченного типа до 50 мил. пудо-в'в. ¹⁾ в год в грузовом направлении. Предельный уклон не круче 0,015.

4) Под'ездные пути и ветви—линии и ветви местного движения, обслуживающие нужды района, учреждения или предприятия.

з) По характеру обслуживания населенных и промышленных центров дороги делятся на:

1) дороги, соединяющие отдельные центры друг с другом или соединяющие центры с железной дорогой;

2) дороги, обслуживающие данный центр или узел.

Ко второй категории относятся:

а) Окружные дороги, которые обслуживают передачи товарных вагонов с дорог на дороги, примыкающих к узлу, чем достигается разгрузка узла; кроме того, окружные дороги обслуживают местное пассажирское и товарное движение.

В больших городах иногда имеются две окружных жел. дороги, из коих одна меньшего диаметра (в Париже—*Petite Ceinture*), обслуживающая пассажирское движение, другая большего диаметра (в Париже—*Grande Ceinture*)—обслуживает товарное движение.

Построенная в 1908 году, у нас Московская Окружная жел. дорога предназначалась, главным образом, для передачи товарных передач с дороги на дорогу узла, в целях разгрузки товарных станций и участков дорог внутри кольца; что же касается пассажирского движения, то таковое не ожидалось в сколько-нибудь значительных размерах, что оправдалось с 1908

¹⁾ Пудо-верст на версту.

по 1924 г., так как число пар пассажирских поездов ограничилось двумя.

б) Для обслуживания пассажирского движения внутри городов устраиваются метрополитены, по большей части в виде внеуличных (подземных и наземных) дорог с электрической тягой.

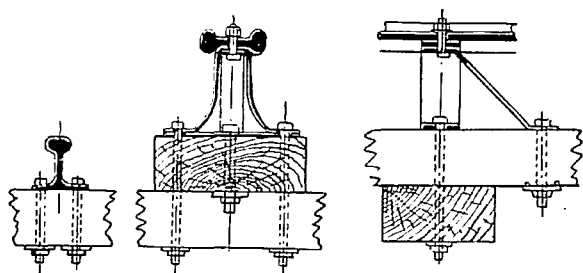
В нижеследующей таблице показано время открытия окружных дорог и метрополитенов, а также указано время открытия конно-железной дороги в Германии, Франции и у нас:

ГОРОДА.	Конно жел. дороги.	Окр. дор. малого диаметра.	Окр. дор. большого диаметра.	Метрополитен.
П а р и ж . . .	1854	1869	1883	1898
Б е р л и н . . .	1865	1870	1896	1902
М о с к в а . . .	1874	—	1908	—

и) По способу сообщения поступательного движения дороги подразделяются на следующие категории:

1) Обыкновенные рельсовые дороги; так как коэффициент сцепления между рельсами и колесами паровоза колеблется от $1,5—1,7$, то при уклоне, соответствующем этому коэффициенту трения, паровоз может вести только самого себя, поэтому при обычных двух рельсах уклон не превышает $0,04—0,05$, а чаще, в целях большего веса поезда, не превосходит $0,008—0,01$.

2) В целях увеличения трения был предложен третий, который обжимался с двух сторон двумя горизонтальными колесами (чер. 10).

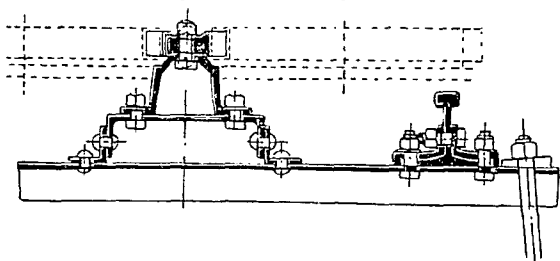


Чер. 10.

3) При дальнейшем увеличении уклона приходится применять зубчатые дороги с особой зубчатой полосой; в эту полосу входят зубья зубчатого колеса паровоза. Двигатели зубчатых

дорог обычно располагаются в хвосте поезда, чтобы предохранить от скатывания оторвавшихся вагонов.

Обычно зубчатые полосы устраиваются с вертикальными зубьями, однако есть случаи устройства полос с горизонтальными зубьями. Таким образом устроена дорога на вершину горы Pilatus, в Швейцарии (черт. 11); зубчатая дорога, по чер. 11, была спроектирована Лохером.



Черт. 11.

Подъем зубчатых дорог достигает 0,5; в частности, упомянутая дорога на Pilatus имеет подъем в 0,48 на протяжении 4,6 км.

4) Вместо устройства зубчатой полосы, при небольшой длине дороги, можно прикрепить вагоны (или один вагон) к канату таким образом, чтобы к одному концу каната был прикреплен один вагон, а к другому—другой.

Канат перекинут на верхней станции через вертикальный ворот или имеется другое устройство.

Когда один вагон внизу, другой наверху; при передвижении одного вагона вниз, а другого вверх вагоны должны иметь возможность раз'ехаться, что вполне возможно при устройстве для каждого вагона своего пути.

Встречаются следующие способы устройства путей для канатных дорог для пропуски вагонов вниз и вверх:



Черт. 12.

а) два отдельных пути, расположенных на таком расстоянии друг от друга, что в месте скрещения вагоны проходят один мимо другого;

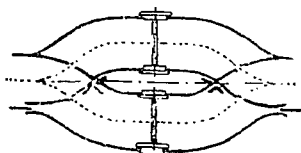
б) пути, в целях экономии в ширине полотна, сближены (чер. 12) в месте скрещения вагонов;

в) для каждого направления имеется свой путь, но средний рельс является общим для обоих путей (чер. 12); в месте скрещения имеются два отдельных пути;

г) наконец, устраивается один путь, который в месте скрещения разветвляется на два пути (чер. 13 и 14); из чер. 13 видно, что колеса одного вагона имеют наружные реборды, а другого—внутренние, чем достигается направление каждого вагона на соответственный путь. На чер. 14—колеса с одной стороны вагона имеют две реборды, с другой стороны—без реборд, чем и достигается направление вагона на соответственный путь.

Длина канатных дорог не превышает 2—3 км.

В целях регулирования плавности движения по канатным дорогам и во избежание толчков, устраивается зубчатая полоса, которая, однако, не имеет того значения, что на зубчатых дорогах.



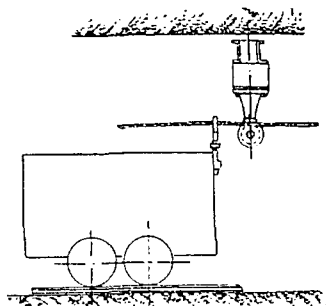
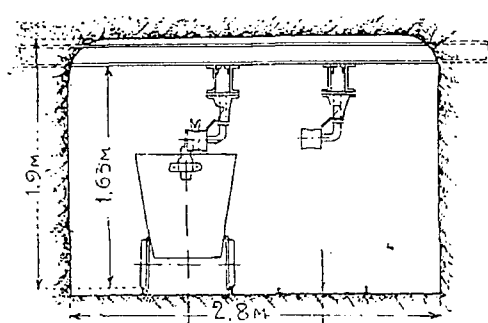
Чер. 13.

5) Вагончиком, идущим по двум рельсам, может сообщаться движение передвигающимся канатом, к которому вагончик подвешивается; такие дороги называются подвесными.



Чер. 14.

Передвигающийся канат может быть расположен ниже вагона в продольной щели пола (на товарной платформе), выше вагончика (чер. 15), а также—сбоку.



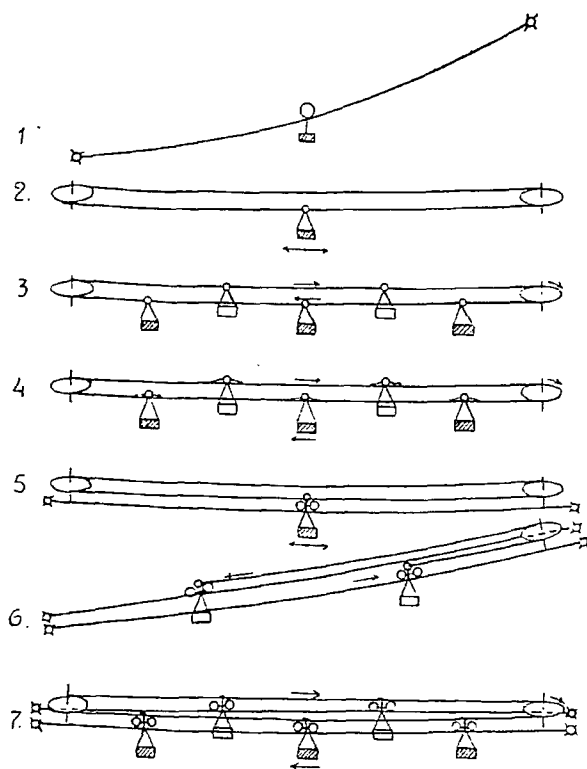
Чер. 15.

б) В тех случаях, когда проводить дорогу по поверхности земли по местным условиям трудно или в виду топографических

условий местности, или в виду застройки, устраивают висячие дороги.

Вагоны в висячих дорогах передвигаются по канату или по жесткому рельсу, при чем возможны разные способы сообщения движения вагонам.

На схеме первой—чер. 16—показано передвижение силой тяжести; возможно устройство мотора на вагончике и передвижение его по канату (рельсу).



Чер. 16.

На чер. 17 показана схема подвесного пассажирского вагона, подвешенного к жесткому рельсу; вагон снабжен мотором. На схеме второй показана подвесная дорога, в которой вагончик прикреплен к канату, который является одновременно несущим нагрузку вагонами и передвигающим их. На схеме 2-ой (чер. 16) один и тот же канат служит для движения в обе стороны,

т.-е. движение является как бы однопутным.

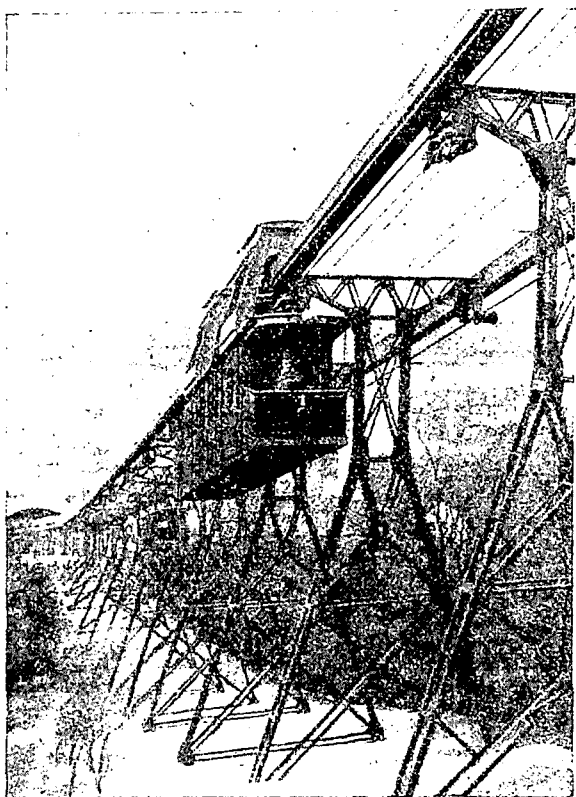
На схеме 3-й—чер. 16—для каждого направления имеется свой канат; вагоны прикреплены к канату на определенных расстояниях.

На схеме 4-ой вагоны могут быть прикреплены при помощи зажимов в любом месте.

На схеме 5-ой нижний канат закреплен неподвижно, а верхний служит для передвижения вагончика в ту или другую сторону.

Схема 6-ая представляет канатную подвесную дорогу.

Схема 7-ая представляет собой подвесную дорогу с отдельным канатом для каждого направления; вагончики приводятся в движение специальным канатом.

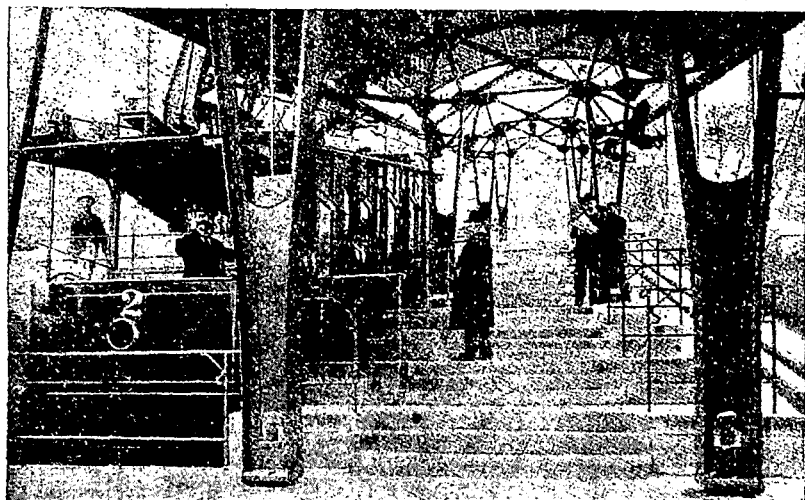


Чер. 17.

Подвесные дороги с вагонами, подвешенными к канату или жесткому рельсу, являются однорельсовыми дорогами; они имеют преимущество перед двухрельсовыми или обыкновенными дорогами, с точки зрения возможности устройства кривых значительно меньшего радиуса.

На чер. 18 показана станция для однорельсовой подвесной дороги Эльберфельд-Вовинкель, в Германии.

7) Однорельсовые дороги обычно устраиваются висячими; однако возможно устройство и однорельсовых дорог с рельсами, расположенным, как и при двух рельсах, ниже вагончика. Равновесие вагона достигается устройством на вагоне особого жироскопа (волчка), благодаря которому вагон при движении по одному лишь рельсу остается в равновесии.



Чер. 18.

§ 7. Значение железных дорог.

Железные дороги произвели переворот в социальной и экономической жизни народов; до проведения железных дорог государства и даже отдельные районы жили своей особенной жизнью, при чем вследствие трудности доставки должны были обходиться продуктами местного производства; железные дороги сблизили с этой точки зрения районы и государства, так как, благодаря дешевой перевозке, явилась возможность перевозить продукты, имеющиеся в избытке в данном районе, в другие районы и тем уменьшить стоимость их на месте потребления.

Таким образом, железные дороги способствуют уравниванию цен, что очень важно в случае неурожаев в отдельных районах, отсутствия топлива и т. п.

Надо отметить, что в странах, где реки замерзают на долгий срок (у нас около 5—7 месяцев), железные дороги в период замерзания рек должны взять на себя тот груз, который не может быть транспортирован реками.

§ 8. Преимущества железных дорог.

Значение жел. дорог основано на тех преимуществах, которые они имеют по сравнению с другими видами транспорта и, в частности, с гужевым транспортом, а именно:

а) Дешевизна железнодорожных перевозок. Если иметь в виду, что коэффициент сопротивления движению на площадке равен для железных дорог, примерно, 3 кгр. на тонну, а для хорошего шоссе 30 кгр. на тонну, то понятно, что стоимость перевозки должна быть для жел. дороги значительно ниже, чем для гужевых дорог; действительно, стоимость перевозки одной пудо-версты гужем составляет $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{6}$ коп., а по жел. дорогам в $\frac{1}{40}$ — $\frac{1}{100}$ коп. Стоимость перевозки пассажиров, в виду значительного мертвого веса вагонов, приходящегося на одного пассажира, уменьшается не в такой степени; стоимость перевозки одного пассажира по гужевым дорогам можно считать около 3—5 коп. с версты, а для жел. дорог в среднем около 1 коп.

б) Скорость и срочность сообщения. Ввиду того, что пассажирские поезда ходят по расписанию, является возможным рассчитать время прибытия в тот или иной пункт; значительная скорость движения дает большую экономию времени, что очень важно для деловых людей. Так как определенная скорость передвижения грузов, в виде определенного числа верст в сутки, гарантируется грузо-отправителям, то последние могут подсчитать время прибытия груза, отправленного в тот или иной пункт.

в) Постоянство железнодорожных тарифов. Стоимость перевозки гужем зависит от времени года (плохое состояние пути, нужда в лошадях для полевых работ и т. п.) и от соотношения спроса и предложения на перевозку; перевозка водой зимой невозможна. Стоимость железнодорожных перевозок не зависит от времени года, спроса и предложения и нормируется установленными тарифами.

г) Приспособленность к массовым перевозкам. Железные дороги могут перевозить тем дешевле, чем

больше пред'является к перевозке массовых грузов. Тариф на массовые грузы бывает обычно ниже.

В случае увеличения размеров перевозок, дорога всегда может увеличить свои перевозочные средства переводом подвижного состава с других линий.

д) Безопасность движения. Случающиеся на жел. дорогах катастрофы по количеству жертв иногда бывают ужасающие, тем не менее, благодаря принимаемым мерам безопасности движения, последнее на железных дорогах менее опасно, чем на обыкновенных дорогах. В Германии, Франции и России в начале настоящего столетия на один несчастный случай с пассажирами, не по их вине, приходилось около 45 миллионов км. пробега, что, принимая при средней скорости 40 км. в час или около 1000 км. в сутки, соответствует непрерывной езде в поезде в течение свыше 100 лет.

Данные о происшествиях и катастрофах во всех частях света изданы в 1913 г. Stockert'ом в труде его «Eisenbahnunfälle», охватывающем период до 1910 г. ¹⁾.

По характеру происшествий и катастрофам, их можно подразделить на следующие категории:

1. Столкновения,
2. Настичение одного поезда другим,
3. Перезезд одного поезда другим,
4. Сход с рельсов (по разным причинам),
5. Разрыв поезда,
6. Пожар в поезде,
7. Несчастные случаи с отдельными лицами,
8. Прочие несчастные случаи.

С точки зрения причин, вызвавших происшествия, последние можно подразделить на следующие категории:

- 1) Происшествия, причина коих заключается в несовершенном устройстве полотна и других железнодорожных сооружений.
- 2) Происшествия, явившиеся следствием дефектов подвижного состава.
- 3) Несчастные случаи, вследствие неправильных действий служащих.
- 4) Несчастные случаи с пассажирами, вследствие их собственной неосторожности.

¹⁾ В 1920 г. было издано дополнение, охватывающее происшествия и несчастные случаи за период с 1910 г. до 1920 г.

5) Несчастные случаи от причин, не зависящих от железной дороги, ее агентов и пассажиров поезда.

К первой из указанных пяти категорий относятся: лопнувшие рельсы, гнилые шпалы, размыв полотна, неисправность стрелок и т. п.

Ко второй—поломка осей, бандажей, порча тормозов, взрыв котла, поломка частей подвижного состава.

К третьей—неправильное отправление поездов, ошибки при производстве маневров, проезд сигналов, езда с преувеличенной, против допущенной, скоростью, неправильность погрузки подвижного состава.

К четвертой—невыполнение распоряжений железнодорожных управлений, неосторожность с огнем, выскакивание на ходу, ограбление в поезде.

К пятой—неосторожность или злой умысел третьих лиц: нахождение крупных животных на полотне; причины стихийные: обвал камней, буря, ливни, землетрясение и т. п.

Что касается классификации на восемь категорий по характеру происшествий, то в этом отношении надо иметь в виду:

1) Степень опасности столкновения растет с увеличением скорости, поэтому катастрофы с пассажирскими поездами много опаснее, нежели с товарными. При столкновении могут двигаться либо оба состава, либо один (другой стоит); при столкновении поездов (почти исключительно на однопутных линиях) разрушения подвижного состава достигают наибольших размеров, происходит так называемое телескопирование (вагоны входят друг в друга).

На однопутных линиях столкновения часто являются следствием выпуска по ошибке поезда навстречу другому поезду; при разрыве поезда возможен наезд на сзади идущий поезд как на однопутной, так и на двухпутной линии.

2) Настигание возможно, как результат непринятия надлежащих мер безопасности, на перегоне двухпутной линии; в случае разрыва поезда на скате, оторвавшаяся часть может нагнать впереди идущую часть; настижение на станциях имеет место весьма часто при проезде машинистом сигнала. Настигание может быть двух идущих поездов; наконец, один поезд может стоять, и в этом случае настижение является, по существу, столкновением.

3) Сход с рельсов или повреждение может иметь место при наезде на препятствие: наезд на упор на оконечных пассажирских станциях; наезд на упор на товарных и сортировочных станциях; наезд на путевой вагончик. Сход вследствие неисправностей на стрелках, на мостах, при проходе по поворотным кругам и тележкам; сход вследствие ветра, бури, большой скорости.

4) Пожар в поезде и взрыв котла очень опасны при движении поезда.

5) Падение пассажиров или служебного персонала, нападение на поезд.

6) К прочим происшествиям можно отнести несчастные случаи от прохождения поезда: пожар леса или строений от искр паровоза.

Статистика происшествий дает возможность судить о достаточности или недостаточности мер безопасности, принимаемых на дорогах.

В качестве измерителей для происшествий принимаются:

а) Число происшествий на 10 мил. поездо-км.

б) » потерпевших » » » » »

в) » потерпевших » » » едущих.

В нижеприведенной табл. VII показаны значения, соответственно пунктам «а», «б» и «в», для Германии, Франции, Англии и Америки. Из таблицы видно, что наиболее безопасным движением является в Германии и наиболее опасным в Америке; значительные цифры в Англии объясняются отчасти большой скоростью движения пассажирских поездов.

Таблица VII.

Г О Д.	Германия.			Франция.			Англия.			Америка.		
	а	б	в	а	б	в	а	б	в	а	б	в
1900	73	69	8	80	64	6	—	322	28	—	398	75
1901	63	56	5	49	58	8	—	305	25	—	438	87
1902	61	56	6	45	59	12	—	295	28	—	502	108
1903	55	52	5	37	41	4	—	311	30	—	564	123
1904	60	54	5	36	46	8	—	312	30	—	600	133
1905	61	57	5	37	42	4	—	299	28	—	591	149
1906	61	58	6	39	53	11	—	322	29	—	627	139
1907	63	59	7	42	54	10	—	392	29	—	670	156
1908	53	51	5	37	51	10	—	432	27	—	638	134
1909	52	49	5	39	48	7	—	433	27	—	—	—

Следует иметь в виду, что в смысле низких измерителей происшествий Германия стоит, если не на первом месте, то на одном из первых; что касается Америки, то измерители ее в несколько раз выше германских.

Столкновений и сходов в 1919 году на 10 мил. поездо-км. было в Германии 25, а в Америке 125.

У нас (статистические сборники б. М. П. С.) в качестве измерителей принимались следующие:

- а) на 100 эксплуатируемых верст,
- б) на 100.000 всяких поездо-верст,
- в) на 1.000.000 всяких вагоно-осе-верст.

В нижеследующей таблице VIII указаны средние цифры для русских жел. дорог для упомянутых трех измерителей.

Таблица VIII.

Г о д.	Происшествий на:		
	100 вер.	100.000 поездо-вер.	1.000.000 осе-верст.
1911 . . .	7,91	1,25	0,21
1913 . . .	10,30	1,54	0,25

В отношении пострадавших приведены отдельно данные для пассажиров и отдельно для служащих и рабочих, с указанием, сколько ранено и сколько убито, при чем измерители даны для пассажиров на:

- 1) 1 миллион перевезенных пассажиров,
- 2) 1 миллиард пассажиро-верст и
- 3) 1 миллион поездо-верст, сделанных пассаж. поездами.

В табл. IX показаны цифры для 1911 и 1913 гг.

Таблица IX.

Г о д.	На 1 миллион пассажиров.			На 1 миллиард пасс.-верст.			На 1 мил. поездо-вер. пасс. поездов.		
	Уби-то.	Ране-но.	Всего.	Уби-то.	Ране-но.	Всего.	Уби-то.	Ране-но.	Всего.
1911 . . .	1,0	5,6	6,6	9,3	53,6	62,9	1,3	7,8	9,1
1913 . . .	0,9	5,6	6,5	8,9	57,5	66,4	1,3	8,7	10,0

Отношение числа раненых к числу убитых равно 6.

Пострадавшие служащие и рабочие отнесены к измерителю 1 мил. поездо-верст; в таблице X даны цифры для 1911 и 1913 гг.

Таблица X.

Г о д.	Пострадавших на 1 мил. поездо-вер.		
	Убито.	Ранено.	Всего.
1911 . . .	1,60	10,10	11,70
1913 . . .	2,00	13,40	15,40

II. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ.

§ 9. Паровозы.

Паровозы бывают пассажирские и товарные; сверх того—товаро-пассажирские и маневровые (часто—танки без тендеров). При паровозах имеются тендера для помещения запасов воды и топлива; в танк-паровозах запас воды и топлива помещается в особых ящиках.

Мы ограничимся краткими данными о наиболее употребительных типах наших паровозов.

Пассажирские паровозы должны развивать большую скорость и потому диаметр ведущих колес должен быть большим (1,7—2,0 м.), иначе число оборотов в минуту получится значительным.

Согласно § 70 правил технической эксплуатации жел. дорог, для тех паровозов, для коих конструкционные скорости не установлены, таковые не должны превышать скоростей, соответствующих числу оборотов движущих (ведущих) колес в минуту: 285—для пасс. паровозов, снабженных двух или одноосной тележкой; 260—для пасс. паровозов с жесткой базой; 220—для товарных паровозов.

В соответствии с изложенным, диаметр колес пассажирских паровозов колеблется от 1,7—2,0 м., а товарных—от 1,2 до 1,35 м.

Сила тяги, наоборот, должна быть больше у товарных паровозов; поэтому число ведущих (спаренных) осей у товарных паровозов не менее четырех и доходит до шести, а для пассажирских паровозов—обычно три оси.

В паровозе число ведущих осей зависит от необходимой силы тяги, а те оси, которые нужны для распределения веса паровоза (поддерживающие оси), располагаются спереди или сзади, а иногда и спереди, и сзади ведущих осей; эти оси имеют диаметр меньший, нежели ведущие оси. У нас тип паровоза обозначается тремя последовательными цифрами, из коих первая относится к передним вольным осям, вторая—к спаренным осям и третья—к задним, вольным осям; таким образом, паровоз типа 1-4-0 будет иметь четыре спаренные оси и одну вольную ось, спереди.

Сила тяги наших товарных паровозов ограничена усилием, которое выдерживает наша стаяжка (16 тн.) ¹⁾, поэтому сила тяги обычно не превосходит этой величины; в Америке же, где введена автоматическая сцепка, сила тяги доходит до 60—70 тн.

В ниже помещенной таблице XI приведены основные размеры наших паровозов:

Таблица XI.

Тип паровоза.	С е р и я.	Диаметр колес в мм.	Запас воды в тендере в тн.	Давление пара в котле в атм.ф.	Испаряющ. по-верх. напр. кв. м	В е с.			Наибольшая касател. сила тяги в тн.	Предельная конст-рукцион. скорость.	
						Полн. в ра-бочем сост.	Сцепной.	Расч. с тендер. с запасом воды и толз.		км. час.	вер. час.
П а с с а ж . п а р о в о з ы .											
Пассажир. 2-3-1 ²⁾	Л	1830	28	12	284,9	96,7	51,9	150,0	9,40	123	115
1-3-1 ³⁾	С	1830	23	13	207,2	75,8	47,2	120,0	8,60	112	105
2-3-0	КУ	1900	17,6	13	180,8	73,2	47,7	110,0	8,65	112	105
1-3-0	НУ	1900	23,5	13	156,8	61,0	49,7	105,0	8,00	106	100
Т о в а р н ы е .											
1-5-0	Е	1320	27	12,7	240,2	88,0	77,6	135,0	15,9	53	50
0-5-0	Э	1320	23	12,0	194,4	80,2	80,2	127,0	15,2	53	50
1-4-0	Щ	1300	25	14,0	206,0	77,3	64,3	120,0	10,7	69	65
0-4-0	Ы	1200	16	12,0	147,3	60,8	60,8	95,0	10,1	59	55
0-4-0	Ов	1200	23	11,5	152,6	52,2	52,2	95,0	8,7	48	45
0-3-0	Q ^Г	1230	23	12,0	177,9	89,1	89,1	135,0	15,0	48	45
† 0-3-0											

¹⁾ Для об'единенной стаяжки 20 тн.

²⁾ Пасифик.

³⁾ Прери.

§ 10. Вагоны.

Вагоны делятся на пассажирские и товарные. Пассажирские вагоны бывают 2, 3, 4 и 6-ти осные, при чем 4-осные имеют две тележки по 2 оси каждая, а шестиосные—две тележки по 3 оси каждая. Длина пультмановских вагонов доходит до 22 метров.

У нас принято считать одного пассажира за 60 пуд. груза, имея в виду значительный мертвый вес вагона, падающий на одного пассажира. Так как у нас пассажирам приходится ездить на большие расстояния, то в обращении должно быть значительное количество спальных вагонов; для мягких спальных вагонов на одного пассажира приходится от 1,5 до 2,5 тн., а для жестких—от 1 до 1,5 тн.

Для местного пригородного сообщения, где вагоны используются лучше, на одного пассажира приходится 0,5—0,6 тн., и, наконец, для специально пригородного движения можно сконструировать вагоны с уменьшением мертвого веса до 0,4 тн. и даже меньше.

Что касается товарных вагонов, то различают нормальные товарные вагоны и специальные вагоны (угольные, цистерны, вагоны-ледники и др.).

Товарные вагоны делятся на следующие категории: а) крытые вагоны, б) платформы и в) полувагоны.

Нормальная длина 21-футовых вагонов и платформ, считая между буферами 7,6 метр., а расстояние между осями колес—3,8 м.; для тормазных вагонов расстояние между буферами—8,24 м.

Для 30-тифутовой нормальной платформы расстояние между осями равно 5,50 м., между буферами—10,4 метр. и для тормазной платформы—11 метров.

В нижеследующей таблице XII показаны основные размеры наших товарных вагонов.

Из таблицы видно, что средняя нагрузка нормального товарного вагона—16,5 тонн, при tare около 7 тн.; таким образом

на одну тонну груза приходится $\frac{16,5 + 7}{16,5} = 1,4$ тонны брутто груза.

Таблица XII.

Наименование вагонов.	Жесткая база в м.	Расст. между центрами вращ. т.леж. м.	Расстоян. между буферами м.	Тара вагона в т.	Подъемн. сила вагона в т.	Отношение веса вагона brutto к подельной силе.
Крытый нормального типа.	3,81	—	7,63	7	16,5	1,43
Тоже тормазной	3,81	—	8,24	8	16,5	1,48
Платформа норм. 21 фут.	3,81	—	7,63	5,7	15,0	1,38
Тоже—тормазная	3,81	—	8,24	6,7	15,0	1,45
Платформа норм. 30 фут.	5,50	—	10,40	6,5	16,5	1,40
Тоже—тормазная	5,50	—	11,00	7,5	16,5	1,46
4-хосн. американские.						
Крытые	1,90	9,06	13,92	19,7	39,5	1,50
Угольные полувагоны.	1,90	9,02	13,52	19,7	49,0	1,40
Платформы.	1,90	8,58	13,38	16,4	49,0	1,34

Для американских полувагонов и платформ отношение брутто к грузу нетто несколько понижается.

§ 11. Специализация и универсализация состава.

В некоторых странах, по преимуществу с сильно развитой промышленностью, имеется большое количество специальных вагонов. Специальные вагоны, будучи сконструированы для определенного груза, утилизируются, с точки зрения использования объема вагона в 100%, но обычно в обратном направлении вагон или вовсе не используется, или используется не в полной мере.

В нижеследующей таблице XIII показано число специальных и товарных вагонов в Америке к концу 1924 года.

Таблица XIII.

№№ по порядку.	Наименование вагонов.	Число вагонов.	% от общего числа вагонов.	Под'емн. сила в америк. тоннах.	% от общей под'емной силы вагонов.
1	Крытые вагоны	1.069.243	45,5	41.833.309	40
2	Платформы	103.860	4,5	4.231.520	4
3	Полувагоны	85.648	3,5	3.056.164	3
4	Угольные вагоны	950.153	40,5	49.138.688	47,5
5	Цистерны	10.721	0,5	462.608	0,5
6	Изотермич. вагоны	51.537	2,0	1.635.121	1,5
7	Прочие вагоны	77.514	3,5	3.790.592	3,5
		2.348.676	—	104.148.102	100

Из этой таблицы видно, что угольные вагоны в Америке составляют свыше 40% от общего числа вагонов, а по под'емной силе составляют почти половину (47,5%) общей под'емной силы всех вагонов.

Что касается наших вагонов, то мы ориентируемся, в общем, на крытый товарный вагон, при чем в нем возим и уголь. В нижеследующей таблице XIV показано распределение товарных вагонов в 1913 году:

Таблица XIV.

№№ по порядку.	Наименование вагонов.	Число вагонов.	% от всего числа вагонов.	Примечание.
1	Крытые вагоны	324.012	67,0	Под'емная сила всех вагонов около 7,5 милл. тонн или около 15,5 т. для кажд. вагона.
2	Полувагоны	19.920	4,0	
3	Платформы	85.243	18,0	
4	Цистерны	27.836	5,5	
5	Прочие вагоны	26.426	5,5	
		483.437	—	

Имея в виду, что в военное время наши крытые вагоны служат для перевозки войск и что длина перевозки, в зависимости от места военных действий, может быть значительна, нам к вопросу о специализации вагонов следует подходить с достаточной осторожностью. В этом случае Америка, как страна по преимуществу морская, нам не пример; Америка, в случае войны, будет воевать на море.

Таким образом, в Америке основными вагонами являются угольный и крытый (87,5% всех вагонов), у нас—крытый вагон (67%).

При проектировании нормального крытого вагона весьма важным является вопрос о том, сколько куб. метров внутреннего содержания вагона приходится на тонну груза. Наш товарный вагон имеет подъемную силу 16,5 тонн и объем—39 куб. м., т.-е. на 1 тонну приходится $39 : 16,5 = 2,36$ куб. м., или вагон рассчитан на плотность груза в $1 : 2,36 = 0,423$.

На германских железных дорогах отношение объема крытого вагона к его подъемной силе равно 3; такое невыгодное соотношение на германских дорогах объясняется тем, что много тяжелых грузов возят на открытых платформах, поэтому грузы, перевозимые в крытых вагонах, имеют меньшую среднюю плотность, чем у нас ($1/3 = 0,333$).

В настоящее время у нас много занимаются вопросом о большегрузном товарном вагоне; общий объем вагона ограничен габаритом подвижного состава; что же касается подъемной силы вагона, то при ее определении надо исходить из средней плотности перевозимого у нас груза. По исчислениям, произведенным инженером И. Я. Манос, ¹⁾ средняя плотность равна 0,5 и на 1 тонну груза надо предвидеть 2 куб. м. вагона.

Хотя крытый вагон является достаточно универсальным, тем не менее у нас имеются опыты использования специальных вагонов для разных категорий грузов в каждом из направлений, как, например, перевозка в одном направлении нефти, в другом хлопка.

Весьма часто на дорогах бывают сезонные грузы, когда нужны вагоны определенных типов, например, нужны преимущественно платформы; кроме того, весьма часто в одном направлении идет груз, для погрузки коего нужны полувагоны,

¹⁾ Труды Комиссии по классификации жел. дорог, ч. I.

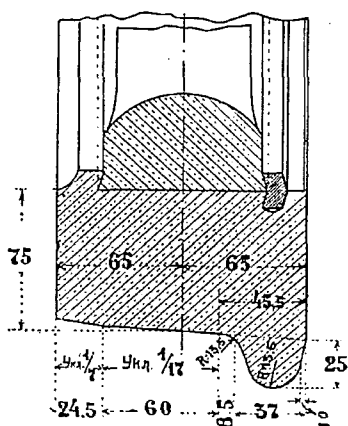
(напр., бураки для выделки сахарного песка, уголь и т. п.), а в другом направлении идет груз, для коего нужны платформы (лес, доски и т. п.). В этом случае в одном направлении будут идти обратно порожние полувагоны, в другом—платформы.

В целях уменьшения пробега порожних вагонов, разными изобретателями предлагались конструкции, которые позволяли вагон обращать, в случае надобности, в платформу (предложение инженера Ларионова) или полувагон в платформу и обратно (предложение инж. Бушмана). Применение полувагонов, обращающихся в платформы, может дать значительное сокращение в пробеге порожних вагонов.

§ 12. Ходовые части. Колесные скаты. Бандажи. Устройство букс.

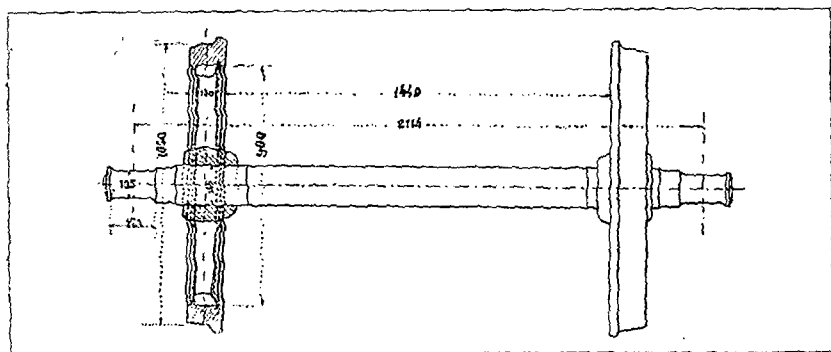
Перейдем теперь к описанию ходовых частей подвижного состава. Особенность устройства колес подвижного состава заключается: 1) в наличии направляющих реборд, 2) в глухой насадке колес (ось и колесо вращаются вместе) и 3) в параллелизме осей.

На колеса насаживаются бандажи (чер. 19); ширина бандажа—130 мм., толщина—75 мм., высота гребня—25 мм., наклон бандажа $\frac{1}{17}$; наклон рельсам придается в $\frac{1}{20}$. Вопрос о целесообразности иметь конические бандажи подвержен большому сомнению. Обыкновенно считают, что при конических бандажах колеса устанавливаются в кривых таким образом, что круги катания бандажей по наружному и внутреннему рельсу одинаковы. Колеса насаживаются на ось под большим давлением. На чер. 20

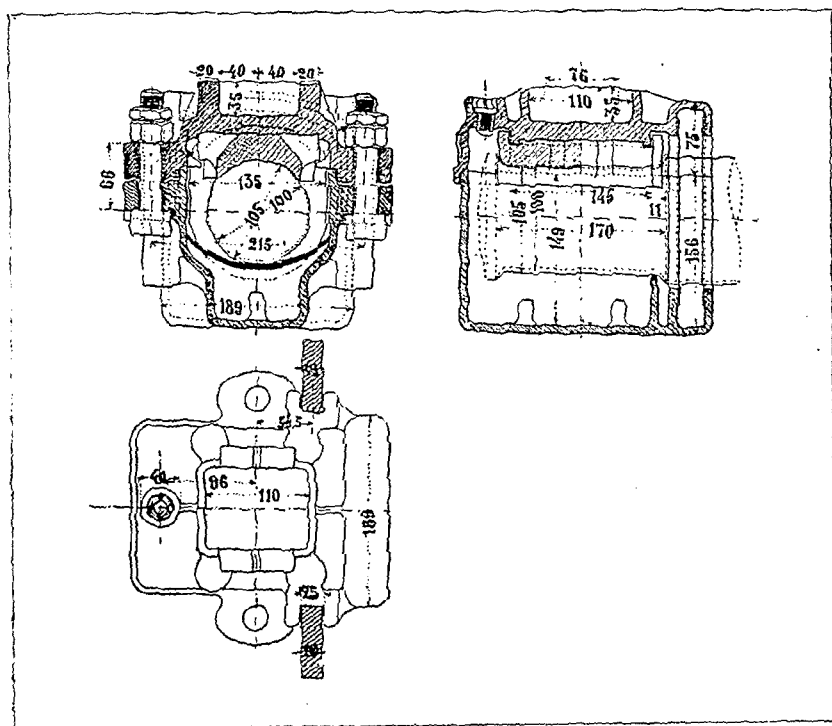


Чер. 19.

показана колесная пара и показана шейка колеса, на которой насаживается осевая букса. На чер. 21 показано устройство буксы нормального товарного вагона; буксовая коробка состоит из двух частей, соединенных болтами. Букса

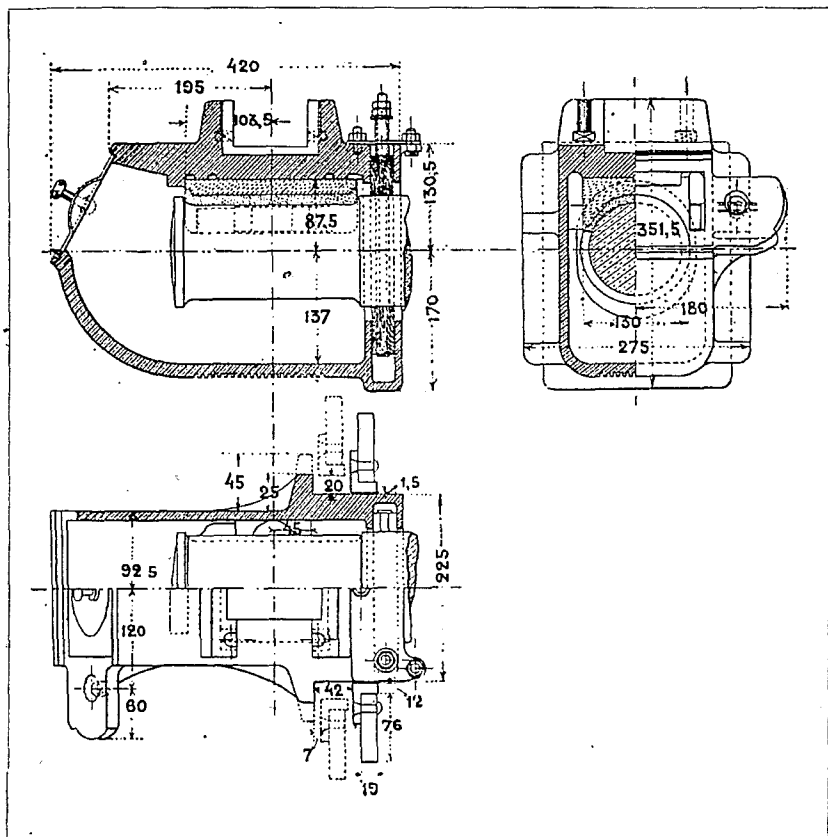


Чер. 20.



Чер. 21.

опирается на осевую шейку помощью подшипника из бронзы, охватывающего верхнюю часть шейки колеса. Смазка производится через отверстие, имеющееся в верхней части буксы.

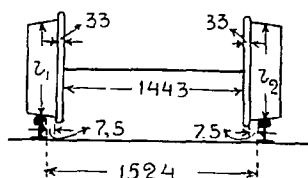


Чер. 22.

В целях более удобного доступа для пассажирских вагонов, применяются цельные буксы (чер. 22).

III. УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ПРЯМЫХ И КРИВЫХ

§ 13. Ширина нормальной колеи—1524 мм. Нормальная насадка бандажа—1440 мм., считая внутри между бандажами, при чем допускаются отступления в 3 мм. в ту и другую сторону. Ширина неизношенного гребня бандажа—33 мм., изношенного—22 мм.

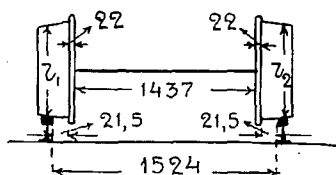


Чер. 23.

$$\frac{1524 - (1443 + 2 \times 33)}{2} = 7,5 \text{ мм.}, \text{ а всего } 15 \text{ мм.}$$

Таким образом, если ось колесного ската совпадает с осью пути, то:

а) Наименьший зазор с каждой стороны будет при неизношенных бандажах и широкой насадке и будет равен (чер. 23):



Чер. 24.

б) Наибольший зазор с каждой стороны (чер. 24) будет при изношенных бандажах и узкой насадке и будет равен:

$$\frac{1524 - (1437 + 2 \times 22)}{2} = 21,5 \text{ мм.}$$

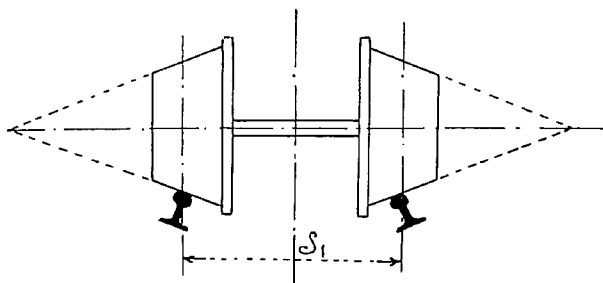
с каждой стороны, а всего 43 мм.

При движении по прямой колеса, вообще говоря, будут катиться, по чер. 25, так, что круги катания колес равны.

Бандаж нормального товарного вагона имеет уклон в $\frac{1}{17}$ на протяжении 60 мм.; таким образом, радиус круга катания может различаться на $\frac{68}{17} = 4$ мм. При диаметре колеса

товарного вагона в 1050 мм., диаметры кругов катания могут быть в 1054 и 1046 мм.

Пусть по кривой движется ось (чер. 26); для того, чтобы путь, переходимый наружным колесом, равнялся пути, прохо-



Чер. 25.

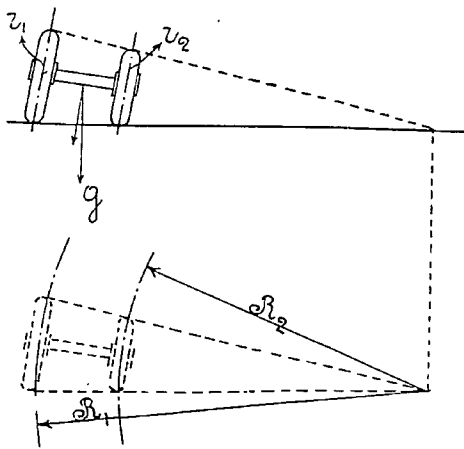
димому внутренним колесом, необходимо, чтобы диаметры колес относились, как радиусы кривых, или:

$\frac{r_1}{r_2} = \frac{R_1}{R_2}$ или, называя расстояние между осями рельсов через s_1 (более ширины колеи s на ширину головки рельса) и радиус оси пути через R , получим:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{R + \frac{s_1}{2}}{R - \frac{s_1}{2}} \text{ и далее } R = \frac{s_1}{2} \frac{r_1 + r_2}{r_1 - r_2} \dots \dots \dots (29)$$

Однако устройство колес разных диаметров невозможно; поэтому, чтобы несколько варьировать величину кругов катания колес, последним придана коническая форма.

Пусть колесо А (чер. 27), катаясь по наружному рельсу, соприкасается с ним так, что круг катания будет r_1 , а для внутреннего рельса круг катания будет r_2 ; тогда будем иметь то же соотношение, что и по



Чер. 26.

ур. (29), но под r_1 и r_2 надо подразумевать круги катания колес A и B , по чер. 27.

Назовем через:

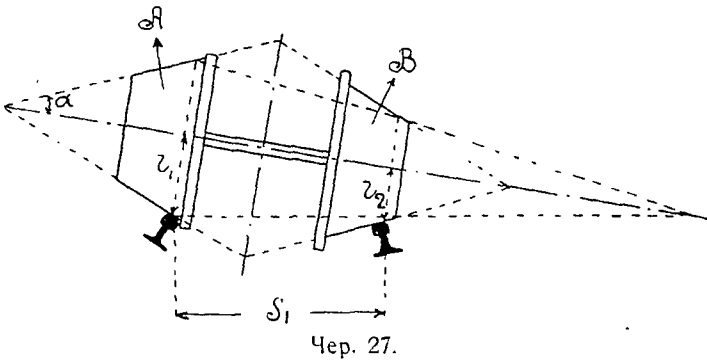
δ — отклонение середины оси от середины пути;

$\frac{1}{n}$ — конусность поверхности катания (для бандажа норм. тов. вагона — $1/17$);

r — средний радиус катания (для норм. тов. вагона 525 мм).

Тогда получим:

$$r_1 - r = \frac{\delta}{n}; \quad r - r_2 = \frac{\delta}{n}; \quad r_1 - r_2 = \frac{2\delta}{n}; \quad r_1 + r_2 = 2r \quad . \quad (30)$$



Сопоставляя ур. (30) и (29), получим:

$$\delta = \frac{s_1 r n}{2R} \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

Величина δ при разнице в кругах катания на 4 мм. равна $2 \times 17 = 34$ мм. и принимая $r = 525$ мм. и $s_1 = 1600$ мм., получим величину радиуса, при котором не будет продольного скольжения колес (для норм. тов. вагона):

$$R = \frac{s_1 r n}{2\delta} = \frac{1600 \cdot 525 \cdot 17}{2 \cdot 34} = 210 \text{ м.}$$

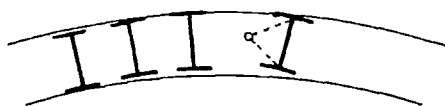
В Америке бандажи ближе к цилиндрической форме и имеют коничность в $1/40$; у нас некоторые служебные вагоны имели скаты с коничностью меньшей, чем $1/17$. Вопрос о величине коничности является спорным; в прямых ход спокойнее для бандажей с меньшей коничностью, что же касается кривых,

то большая коничность дает возможность расположиться колесам так, чтобы круги их катания соответствовали радиусам наружной и внутренней нитки; однако, в действительности имеется не одна ось, а, по крайней мере, две оси, поэтому расположение пары осей, по чер. 27, трудно осуществимо.

На чер. 28 показано действительное расположение двухосного вагона в кривой.



Чер. 28.



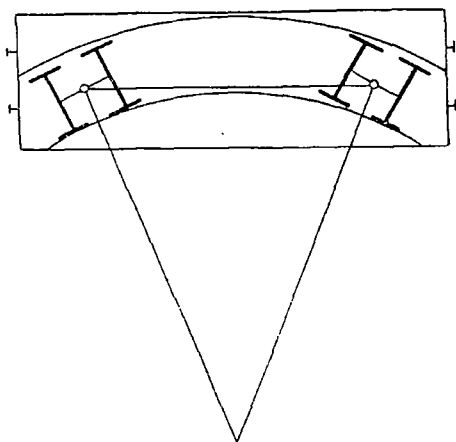
Чер. 29.

Из чер. 28 видно, что передняя, по ходу вагона, ось идет таким образом, что наружное колесо катится большим радиусом, а внутреннее—меньшим; однако, задняя ось идет так, что наружное колесо катится меньшим радиусом, а заднее—большим, т.-е. задней оси приходится подкальзывать, при чем наружному колесу—вперед, а внутреннему—назад.

В целях улучшения прохождения подвижного состава принимаются разные меры, как например:

1) Паровозы устраиваются с передней осью, вращающейся относительно вертикальной оси (чер. 29).

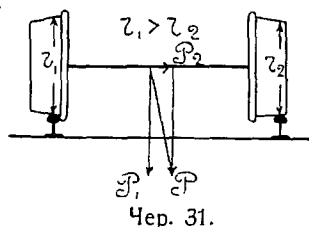
2) В случае большой базы вагоны устраиваются на тележках (чер. 30), что значительно улучшает условия прохождения вагонов по кривым.



Чер. 30.

В действительности колесная пара редко катится по прямой таким образом, что круги катания обоих колес равны; обычно, встречая выбоины, перекосы в пути, а также вследствие

неравномерного натяжения сцепных приборов, середина колесной пары отклоняется от оси пути. В этом случае левое колесо катится по радиусу $r_1 > r$, правое колесо—по радиусу $r_2 < r$; называя (чер. 31) давление оси через P и разлагая это давление на две слагающие, одну перпендикулярную к оси P_1 , а другую, P_2 —вдоль оси колесной пары, мы видим, что сила P_2 будет стремиться возвратить ось в прежнее положение. При разнице в кругах катания, колесо с радиусом катания r_1 будет опережать колесо с радиусом



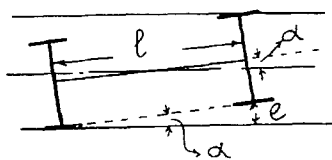
Чер. 31.

катания r_2 , а так как оба колеса расположены на одной и той же оси, то между колесами и рельсами появятся силы $\frac{fP}{2}$, образуя пары $\frac{fPs_1}{2}$, где s_1 —расстояние между осями рельсов.

Под влиянием вышеуказанных сил и сил инерции колесный скат стремится занять среднее положение, проходит его и сдвигается от среднего положения в противоположную сторону, вследствие чего получается волнообразное движение.

Когда движется экипаж (паровоз, вагон), состоящий из нескольких осей, то указанное волнообразное движение будет иметь место, но будет ослабляться совокупным действием осей.

При движении паровоза к указанному явлению присоединяется действие инерции частей механизма, которые двигаются с разных сторон паровоза, при чем образуется пара сил, которая вращает паровоз около вертикальной оси; кроме того, под влиянием движущихся частей механизма появляются подергивание и подпрыгивание.



Чер. 32.

Выше было указано, что между колесной парой и колеей имеется зазор, величина коего e —не менее 15 мм. и не более 43 мм.; Таким образом (чер. 32), если заднее колесо оси будет прижато к нижнему рельсу (по чертежу), а переднее—к верхнему рельсу

(по чертежу), то при базе вагона l , ось вагона отклонится от продольной оси пути на угол α , который определится из

$$\sin \alpha = \frac{e}{l} \dots \dots \dots (32)$$

При расстоянии между осями нормального товарного вагона в 3,8 м., получим наибольшую величину угла α в:

$$\sin \alpha = \frac{43}{3800} = 0,0113, \text{ т.-е. } \alpha = \sphericalangle 40'.$$

Переднее колесо будет набегать на рельс под углом α с живой силой k , равной, при массе вагона m , в:

$$k = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{2} \dots \dots \dots (33)$$

В целях уменьшения извилистости движения, надо уменьшить зазор и увеличивать базу вагонов. Кроме того, извилистому расположению по чер. 32 вагонов будут препятствовать подтянутые стяжки; что же касается паровоза, то он находится в наиболее неблагоприятных условиях.



IV. УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В КРИВЫХ И УШИРЕНИЕ КОЛЕИ

§ 14. При вступлении с прямого пути на кривую, экипаж будет продолжать двигаться прямолинейно до тех пор, пока колесо переднего ската не упрется в рельс. При дальнейшем движении по кривой, вследствие взаимодействия рельса и бандажей, передний скат будет перемещаться во внутрь кривой. Задний же скат будет иметь стремление установиться радиально, если существующий зазор достаточен для такой установки. Наблюдения над проходом двухосного вагона по кривому пути показывают, что наружное колесо переднего ската набегают на рельс (режет), задний же скат отклоняется к центру и при некотором соотношении между базой l и радиусом кривой R может набегать на внутренний рельс.

При движении по кривой экипаж вращается вокруг центра со скоростью $\omega = \frac{v}{R}$, где v — скорость поступательного движения.

Это движение рассматриваем состоящим из поступательного—параллельно продольной оси со скоростью v и вращательного—около основания перпендикуляра, опущенного из центра на продольную ось, со скоростью $\omega = \frac{v}{R}$.

Рассмотрим вписывание в кривую двухосного вагона, колесо переднего ската которого набегают на рельс, а задняя ось устанавливается радиально, и определим соотношение между длиной базы— l , радиусом кривой— R и уширением колеи— e , при котором такое положение вагона возможно.

При качении наружного колеса переднего ската по рельсу, колесо катится гребнем по боковой поверхности рельса и точка касания передвигается вперед от вертикальной плоскости, проходящей через ось ската, на величину b (чер. 33).

Из чер. 33 имеем:

$$b = \sqrt{(2r+k)k} \dots \dots \dots (34)$$

где: r —наибольший радиус конической поверхности бандажа;
 k —высота гребня бандажа, принимаемая в 25 мм.

Для товарного вагона $2r=1050$ мм. и $b=165$ мм.

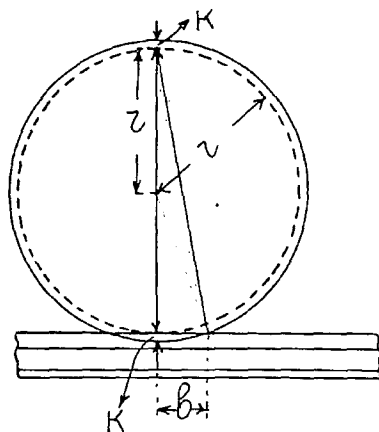
Для паровоза 0-5-0-Э величина $2r=1320$ мм. и $b=185$ мм.

Из чер. 34 имеем:

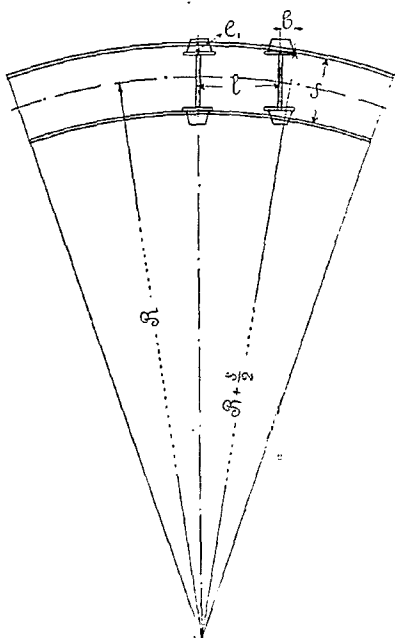
$$(l+b)^2 = e_1(2R+s-e_1).$$

Принимая во внимание, что $s-e_1$ незначительно, по сравнению с R , а b —по сравнению с l , получим:

$$e_1 = \frac{l^2}{2R} \dots \dots \dots (35)$$



Чер. 33.



Чер. 34.

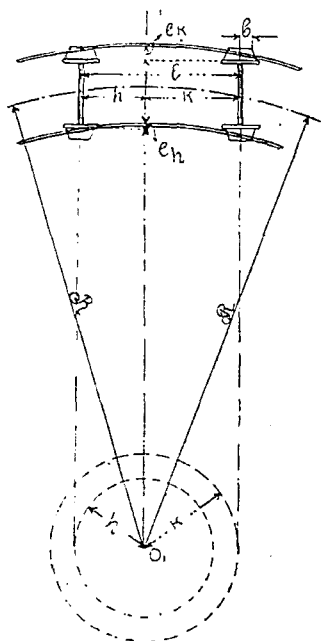
Для товарных вагонов $l=4$ м. (с округлением);

$$e_1 = \frac{16}{2R} = \frac{8}{R} \text{ м.} = \frac{8000}{R} \text{ мм.};$$

имея в виду запас в 15 мм., получим уширение:

$$e_1 = \frac{8000}{R} - 15 \text{ мм.} \dots \dots \dots (36)$$

При движении вагона по кривой продолжение задней оси будет совпадать с центром кривой, а продолжение передней оси все время будет касаться окружности, описанной радиусом l вокруг центра кривой. Радиальное расположение задней оси возможно при величине уширения e_1 , не меньшего определяемого ур. (35) и для товарного вагона—ур. (36).



Чер. 35.

Если центр вращения не будет совпадать с задним колесом, а будет находиться между задним и передним, то все же, при значении e_1 по форм. (35), заднее колесо стремится принять радиальное положение.

Пусть (чер. 35) центр вращения находится на расстоянии h от задней оси и k от передней оси; описывая около центра кривой две окружности радиуса h и k , мы видим, что при нахождении центра вращения вагона в точке O , продолжение задней оси будет во все время передвижения вагона касаться окружности, описанной радиусом h , а продолжение передней оси будет касаться окружности, описанной радиусом k .

Уширение $e = l_k - l_h$; из чер. 35 видно:

$$l_k = \frac{(k+b)^2}{2R} \text{ и } l_h = \frac{(h-b)^2}{2R} \dots \dots \dots (37)$$

$$k+h=l \dots \dots \dots (38)$$

$$\begin{aligned} e = l_k - l_h &= \frac{k^2 - h^2 + 2b(k+h)}{2R} = \frac{k^2 - h^2 + 2bl}{2R} = \\ &= \frac{k^2 - h^2}{2R} + \frac{bl}{R} \dots \dots \dots (39) \end{aligned}$$

Если пренебречь вторым членом в форм. (39), то получим:

$$e = \frac{k^2 - h^2}{2R} \dots \dots \dots (40)$$

Из ур. (38) и (39) получим величины k и h :

$$k = \frac{l}{2} + \frac{Re}{l} - b \quad \dots \dots \dots (41)$$

$$h = \frac{l}{2} - \frac{Re}{l} + b \quad \dots \dots \dots (42)$$

Если заднее колесо расположено радиально, то:

$$h=0; k=l;$$

и тогда: $e = \frac{l^2}{2R}$, т.-е. то же, что получали выше.

Уменьшая величину уширения, против величины, исчисленной по ур. (36), мы вынужденно передвигаем центр вращения от задней оси к середине вагона.

При $h=k$ центр вращения совпадает с осью вагона, величина уширения по ур. (39) будет равна:

$$e_3 = \frac{bl}{R} \quad \dots \dots \dots (43)$$

при чем это уширение требуется сверх 1509 мм., а так как имеющийся запас в 15 мм. обычно больше, чем e_3 по ур. (43), то для случая совпадения оси вращения с центром двухосного вагона уширения вообще не нужно бы делать, однако, сопротивление движению, тогда будет значительным.

Выше было найдено значение b для товарного вагона в 0,165 м., принимая $l=4$ м. и $R=150$ м. (70 саж.), получим:

$$e_3 = \frac{0,165 \times 4}{150} = 5 \text{ мм.}, \text{ что менее 15 мм.}$$

При расположении вагона по чер. 34, когда задняя ось расположена радиально, будем иметь: верхнее по чертежу колесо передней оси катится большим радиусом катания, чем нижнее колесо той же оси, поэтому центр конуса катания передней оси будет на той же стороне, что и центр кривой. Так как длина пути по наружному рельсу более длины пути по внутреннему рельсу, то, при качении наружного колеса с большим радиусом, получается, что наружное колесо, в зависимости от радиуса кривой, либо опережает, либо отстает от пути, пройденного по рельсу (в частном случае пути могут быть равны), поэтому наружное колесо передней оси подкальзывает вперед или назад, а внутреннее колесо соответственно назад или вперед.

Задняя ось идет, таким образом, что внутреннее колесо прижато к внутреннему рельсу и катится по большему радиусу катания, а наружное по меньшему радиусу катания; вершина конуса, образуемого кругами катания, расположена на противоположной стороне центра кривой; в отношении задней оси, идущей радиально, получается, что путь, проходимый внутренним колесом, исходя из радиусов кругов катания, больше пути, проходимого наружным колесом; по ниткам же рельсов получается наоборот, а именно: путь, подлежащий прохождению по наружному рельсу, больше, чем по внутреннему; таким образом, для оси, расположенной радиально, внутреннее колесо подкальзывается назад, а наружное вперед.

При расположении центра вращения между осями, передняя ось идет большим кругом катания по наружному рельсу, так что подкальзывание происходит, примерно, таким же образом, как и при расположении по чер. 34; задняя ось не так близко прижата к внутреннему рельсу, поэтому центр конуса катания вообще находится по другую сторону центра кривой, но может переместиться по ту же сторону, где находится центр кривой.

Когда уширение настолько незначительно, что ось вращения совпадает с центром двухосного вагона, то условия движения задней оси приближаются и могут стать почти одинаковыми с условиями движения передней оси и в этом случае вершины конусов катания находятся по одну сторону с центром кривой.

Таким образом, имеем:

1) При совпадении центра вращения с задней осью, вершина конуса катания передней оси находится с той же стороны, что и центр кривой, а вершина конуса катания задней оси—с противоположной стороны.

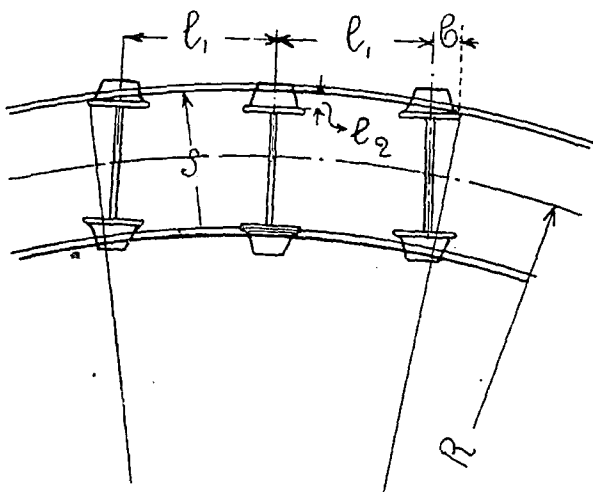
2) При расположении центра катания между осями, передняя ось идет, как и в предшествующем случае, а вершина конуса катания задней оси находится либо на противоположной, либо на одной стороне с центром кривой.

3) При совпадении оси вращения с центром вагона, вершины конусов катания обеих осей находятся по одну сторону с центром кривой.

Рассмотрим условия прохождения трехосного вагона (чер. 36); в этом случае внутреннее колесо средней оси расположено так же, как и заднее колесо двухосного вагона по чер. 34, т.-е. средняя ось расположена радиально; обе крайние оси расположатся таким образом, что реборды наружных колес будут упираться в наружный рельс.

Называя расстояние между осями через l_1 и замечая, что в отношении вписывания в кривую половина трехосного вагона располагается геометрически так же, как и двухосный вагон по чер. 34, получим:

$$e_2 = \frac{l_1^2}{2R} \dots \dots \dots (44)$$



Чер. 36.

При таком значении e_2 трехосный вагон будет в худших условиях, нежели двухосный вагон. Средняя ось имеет поперечный разбег, благодаря чему условия прохождения по кривой несколько улучшаются.

Величина уширения e_1 , требуемая условиями прохождения двухосного вагона и зависящая от базы вагона l , будет больше, нежели уширение e .

Уширения e_2 и e_3 должны быть прибавлены к ширине $1443 + 2 \times 33 = 1509$ мм., при чем ширина колеи должна быть не менее 1524 мм.

Принимая базу трехосного вагона в 7,6 м., получим ниже-
следующие значения уширений и ширины колеи для разных
радиусов табл. XV (при чем уширение не делается более 20 мм.,
см. ниже).

Таблица XV.

R	Задняя ось расположена радиально (двухосн. ваг.)			Двухосн. ваг. в услов. заклинен.		Трехосный вагон.	
	Уширен. $\frac{8000}{R}$ $-15=e_1$	Принятое уширение.	Ширина колеи.	$e_3 = \frac{lb}{R} =$ $\frac{0,66}{R}$ $= \frac{660}{R}$ мм.	Ширина колеи $1509 + e_3$	$e_2 = \frac{3,8^2}{2R} =$ $\frac{7,22}{R}$ $= \frac{7220}{R}$ мм.	Ширина колеи $1509 + e_2$
800	0	0	1524	0,8	1524	9	1524
700	0	0	1524	0,9	1524	10	1524
600	0	0	1524	1,1	1524	12	1524
500	1	1	1525	1,3	1524	14	1524
400	5	5	1529	1,6	1524	18	1527
300	12	12	1536	2,2	1524	24	1533
250	17	17	1541	2,6	1524	29	1538
200	25	20	1544(1549)	3,3	1524	36	1544(1545)
150	38	20	1544(1562)	4,4	1524	48	1544(1557)
100	65	20	1544(1589)	6,6	1524	72	1544(1581)

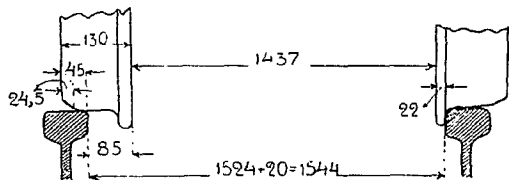
Из таблицы видно, что для радиусов 250 м. и выше уши-
рение для возможности вписывания товарного вагона с задней
осью, расположенной радиально, не должно быть более 20 мм.
Трехосный вагон при условии вписывания по чер. 36 потребует
меньшего уширения, так что, делая величину уширения, требую-
щуюся для двухосного вагона, мы удовлетворяем одновременно
ур. (44), т.-е. величине уширения трехосного вагона.

Для радиусов 200, 150 и 100 м. уширение по расчету
получается больше 20 мм., поэтому центр вращения вагона
перемещается от задней оси внутрь вагона и сопротивление
движению увеличивается по сравнению со случаем, когда зад-
няя ось расположена радиально; двухосный вагон не получается
заклиненным, как это видно из величин уширения, требующихся
при заклиненном положении вагона.

Условия прохождения трехосного вагона по кривым радиуса 200 и 150 м. еще возможны, учитывая поперечный разбег средней оси, но по кривым в 100 м. почти невозможны.

Уширение ограничено величиной в 20 мм., по следующим соображениям: принимая изношенные бандажи и узкую посадку, получим (чер. 37) расстояние от внутреннего края бандажа до наружной грани рельса в $1544 - 1437 - 22 = 85$ мм.

Ширина бандажа 130 мм. и, следовательно, бандаж катится по рельсу на ширину 45 мм.; имея в виду, что край бандажа на ширину 24,5 мм. имеет уклон $1/7$ и



Чер. 37.

что внутренняя грань головки имеет закругление радиуса 13 мм., получим, что при уширении в 20 мм. возможен случай, что бандаж будет катиться по рельсу по полоске шириной лишь в $45 - 24,5 - 13 = 7,5$ мм.; при износе же вертикальной грани головки правого по чертежу рельса эта полоска может еще уменьшиться.

Согласно установленных НКПС'ом норм и допусков в размерах пути для нормальной колеи, приняты следующие величины уширений для разных радиусов.

$R = 1100$ м. и более уширения не делается.

$R =$ менее 1100 и до 800 м. — 5 мм.

$R =$ менее 800 и до 500 м. — 10 мм.

$R =$ менее 500 и до 400 м. — 15 мм.

$R =$ менее 400 м. — 20 мм.,

т.-е. величины уширений приняты несколько больше, чем требуется по формуле $\frac{8000}{R} - 15$.

Примеры: На чер. 38 показано расположение осей паровоза 0-5-0-Э.

Величина уширения для вписывания паровоза таким образом, чтобы средняя ось располагалась радиально, должна быть:

$$e = \frac{(2,890 + b)^2}{2R} = \frac{(2,89 + 0,185)^2}{2R} = \frac{4,73}{R} \text{ м.} = \frac{4730}{R} \text{ мм.}$$

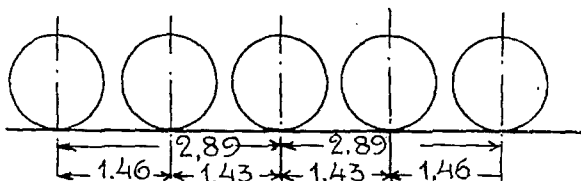
Таким образом, при уширении в 20 мм. наименьший радиус, при котором возможен проход паровоза 0-5-0-Э, был бы 240 м., при чем для крайних осей будет запас в 15 мм.

Так как паровозу необходимо проходить по кривым меньшего радиуса, то в паровозе типа 0-5-0-Э среднее колесо не имеет реборды, и величина уширения определяется условиями расположения паровоза по чер. 39, для коего получим:

$$e = e_1 - e_2 = \frac{4,730}{R} - \frac{(1,430 - 0,185)^2}{2R} = \frac{4,780}{R} - \frac{0,775}{R} = \frac{4}{R}$$

или $\frac{4000}{R}$ в мм.

т.е. радиус уменьшается до 200 м.; если считать, что запас в



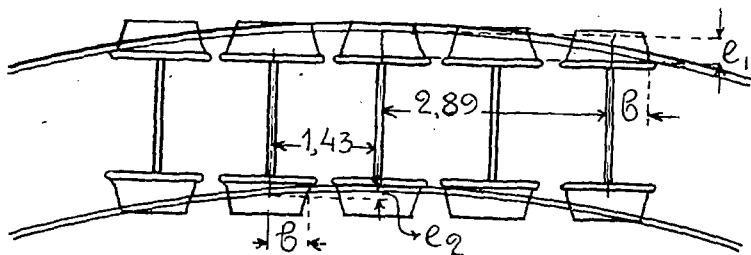
Чер. 38.

15 мм. может быть использован полностью, т.е. принять теоретический случай полного заклинивания паровоза, то получим:

а) при наличии реборды на среднем колесе $R = \frac{4730}{35} = 135$ м.

б) при отсутствии реборды $R = \frac{4000}{35} = 115$ м.

Так как полного заклинивания допустить нельзя, то радиус допустим в 150 м., что дает $\frac{4000}{150} = 27$ мм. уширения, или запас в 15 мм. является использованным на половину.



Чер. 39.

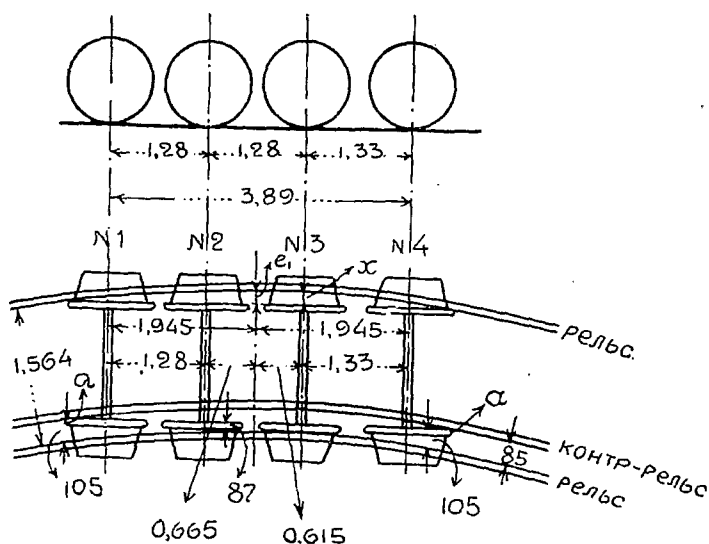
Устройство контр-рельсов. Ограничение уширения в 20 мм. при применении малых радиусов, как, например, в слу-

чаях постройки под'ездных и заводских ветвей, вызывает большое сопротивление движению, поэтому является вопрос о применении больших уширений и принятия соответствующих мер против провала колес.

Рассмотрим условия движения (чер. 40) паровоза 0-4-0-0^в. Для колеса диаметром $2r = 1200$ м. величина $b = 0,175$ м. Наименьшее уширение e будет равно:

$$e = e_1 - e_2 = \frac{\left(\frac{3,89}{2} + 0,175\right)^2}{2R} - \frac{(0,615 - 0,175)^2}{2R} =$$

$$= \frac{2,12^2 - 0,44^2}{2R} = \frac{4,4944 - 0,1936}{2R} = \frac{2250}{R} - \frac{100}{R} = \frac{2150}{R} \text{ в мм.}$$



Чер. 40.

Для радиуса 125 м. получим $e = 17$ мм. и делаем 20 мм.; однако, при уширении в 20 мм. движение будет затруднено. Сделаем уширение в 40 мм., т.-е. ширину колеи в 1564 мм.

Пусть наружные (т.-е. катящиеся по наружному рельсу) колеса крайних осей упрутся в крайний рельс, как показано на чер. 40. Тогда, принимая реборду бандажа наружного колеса оси № 1 в 22 мм. и узкую насадку, получим расстояние от внутренней грани бандажа внутреннего колеса до вертикальной

границы внутреннего рельса $1564 - 1437 - 22 = 105$ мм.; т.-е. колесо будет катиться площадкой в 25 мм.

Кривая против второй от головы поезда оси (на расстоянии 1,33 м.) отойдет на величину x , при чем:

$$e_1 - x = \frac{\left[\frac{3,89}{2} - (1,33 + 2b) \right]^2}{2R} = \frac{(1,935 - 1,68)^2}{2R} = \frac{0,035}{R} = \frac{35}{R}$$

или для $R = 125$ м. получим $\frac{35}{125} = 0,3$ мм.

$$x = e_1 - 0,3 = \frac{2250}{R} - 0,3 = 18 \text{ мм.}$$

Считая, что толщина гребней бандажей равна 22 мм., получим следующие расстояния от внутренних граней бандажей до вертикальных граней головок рельсов. Расстояния (первая цифра для гребней 22 мм. и вторая «или» для гребней в 33 мм. и широкой насадки):

Ось № 1:

Наружное колесо, левая грань бандажа 22 или 33 мм.
(42 или 53)

Внутреннее колесо, » » » 105 или 88 мм.
(85 или 68)

$$\text{или } 22 + 1437 + 105 = 33 + 1443 + 88 = 1564 \text{ мм.}$$

Ось № 4:

Наружное колесо, правая грань бандажа 22 или 33 мм.
(42 или 53)

Внутреннее » » » » 105 или 88 мм.
(85 или 68)

Оси № 2 и № 3:

Наружное колесо, правая для оси № 2 и левая для оси № 3 грань бандажа—40 или 51 мм. (60 или 71)

Внутреннее колесо, правая для оси № 2 и левая для оси № 3 грань бандажа—87 или 70 мм. (67 или 50)

$$\text{или } 40 + 1437 + 87 = 51 + 1443 + 70 = 1564 \text{ мм.}$$

Во избежание провала колес № 1 и № 4, надо поставить внутренний контр-рельс таким образом, чтобы расстояние 105 мм. уменьшилось до 85 мм., т.-е. расстояние между внутренними гранями головок рельса и контр-рельса должно быть 85 мм. и тогда расстояния для колес изменятся на 20 мм., и будут иметь место цифры, показанные в скобках.

Как видно, все цифры в скобках не превосходят 85 мм., т.-е. провала колес не может быть. Мы обращаем особое внимание на необходимость в каждом отдельном случае подсчитывать наибольший возможный зазор между рельсом и контр-рельсом. Надо иметь в виду, что между контр-рельсом и внутренними гранями реборд имеется трение, которое будет тем больше, чем меньше зазор между рельсом и контр-рельсом.

Если расстояние между рельсом и контр-рельсом уменьшить, то может быть провал наружных колес осей № 2 и 3; расстояние от внутренних граней наружных колес № 2 и 3 равно 51 мм. и оно может увеличиться до 85 мм., т.-е. наименьшее расстояние между рельсом и контр-рельсом может быть уменьшено еще на $85 - 71 = 14$ мм., т.-е. равняется $85 - 14 = 71$ мм.

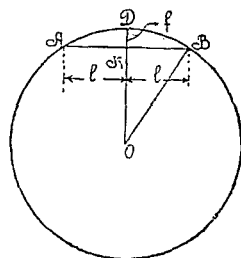
При укладке контр-рельсов весьма часто никаких расчетов не делается, а укладывают их на расстояние 40—50 мм.; при этом получается большое сопротивление движению и возможны сходы наружных колес средних осей паровозов.

Пользуясь ходом расчета, приведенного в настоящем примере, можно в каждом частном случае определить необходимый максимальный и возможный минимальный зазор между внутренним рельсом и контр-рельсом.

Уширение в кривых должно начинаться в начале переходной кривой (см. ниже) и достигать полной величины в конце переходной кривой у точки примыкания ее к круговой кривой.

§ 15. Определение положения экипажа, при вписывании в кривую, может быть произведено путем аналитическим, но этот способ сложен и не нагляден. Вследствие же малой величины уширения по сравнению с радиусом кривой, графическое построение обыкновенным методом для практических целей неприемлемо. Графическое вписывание наглядно и с достаточной для практических целей точностью выполняется по способу *Ройя*.

Возьмем окружность радиуса R и хорду $AB = 2l$, соответствующая хорде стрела $DK = f'$ (чер. 41):



Чер. 41.

$$DK = f' = OD - OK = R - \sqrt{R^2 - l^2}.$$

Разлагая в ряд, получим:

$$f = Rk - Rk + \frac{1}{2} \frac{l}{R} l + \frac{1}{8} \left(\frac{l}{R}\right)^3 l + \frac{1}{16} \left(\frac{l}{R}\right)^5 l + \dots$$

$$= \frac{1}{2} \frac{l^2}{R} + \frac{1}{8} \left(\frac{l}{R}\right)^3 l + \frac{1}{16} \left(\frac{l}{R}\right)^5 l + \dots$$

Ограничиваясь первым членом, получаем:

$$f' = \frac{l^2}{2R},$$

а это есть зазор, соответствующий радиальной установке.

Величина ошибки при данном допущении будет:

$$f - f' = \frac{1}{8} \left(\frac{l}{R}\right)^3 l + \frac{1}{16} \left(\frac{l}{R}\right)^5 l + \dots$$

Пренебрегая членами, начиная со второго, вследствие их малости, получаем:

$$f - f' = \frac{1}{8} \left(\frac{l}{R}\right)^3 l$$

Для базы $l=4$ м. и $R=100$ м., $f - f' = \frac{1}{8} \left(\frac{4}{100}\right)^3 \cdot 4 = 0,032$ м.,

что показывает, что возможно пользоваться для вычисления стрелы формулой $f' = \frac{l^2}{2R}$

Возьмем другую окружность радиуса $r = \frac{R}{n^2}$ и хорду $l_n = \frac{l}{n}$

т.е. уменьшим радиус в n^2 раз, а хорду в n раз и определим величину стрелы:

$$f_2 = \frac{l_n^2}{2r}$$

Подставляя в эту формулу $r = \frac{R}{n^2}$ и $l_n = \frac{l}{n}$, получим:

$$f_2 = \frac{\left(\frac{l}{n}\right)^2}{2 \frac{R}{n^2}} = \frac{l^2}{2R},$$

т.е. значение стрелы получается в натуральную величину. Следует заметить, что ошибка, получающаяся вследствие сделанных допущений, при значительном n приобретает существенное значение, она увеличивается с увеличением базы, уменьшением R и увеличением масштаба.

Напишем точное значение f_2 для радиуса $r = \frac{R}{n^2}$ и $l_n = \frac{l}{n}$:

$$f_2 = r - \sqrt{r^2 - l_n^2} = \frac{1}{2} \left(\frac{l_n}{r}\right) l_n + \frac{1}{8} \left(\frac{l_n}{r}\right)^3 l_n + \frac{1}{16} \left(\frac{l_n}{r}\right)^5 l_n + \dots$$

или $f_2 = \frac{l^2}{2R} + \frac{1}{8} \left(\frac{l}{R}\right)^3 l^2 + \frac{1}{16} \left(\frac{l}{n}\right)^5 l^4 + \dots$

При неискаженном масштабе:

$$f_1 = \frac{l^2}{2R} + \frac{1}{8} \left(\frac{l}{R}\right)^3 l + \frac{1}{16} \left(\frac{l}{R}\right)^5 l + \dots$$

Отсюда $f_2 - f_1 = \frac{1}{8} \left(\frac{l}{R}\right)^3 l (n^2 - 1)$.

Задаваясь желательной степенью точности, определяем масштабы.

Т а б л и ц а м а с ш т а б о в .

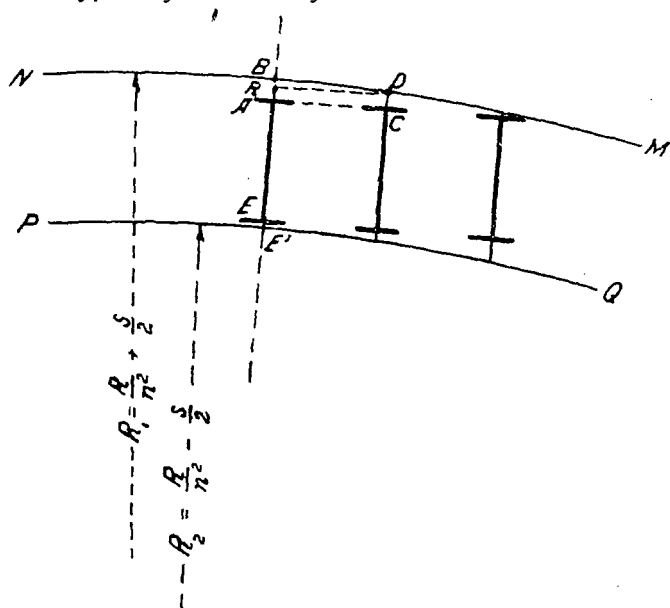
	Радиусы кривизны R.	180 м.	200 м.	300 м.
Братъ на диа- грамме.	Масштаб п.	8	10	12,5
	Ширина колеи в.	$\frac{1}{2}$ н. в.	$\frac{1}{2}$ н. в.	$\frac{1}{2}$ н. в.
	База в	$\frac{1}{8} \cdot \frac{1}{2} =$ $= \frac{1}{16}$ н. в.	$\frac{1}{10} \cdot \frac{1}{2} =$ $= \frac{1}{20}$ н. в.	$\frac{1}{12,5} \cdot \frac{1}{2} =$ $= \frac{1}{25}$ н. в.
	Радиус закругления	$\frac{1}{8^2} \cdot \frac{1}{2} =$ $= \frac{1}{128}$ н. в.	$\frac{1}{10^2} \cdot \frac{1}{2} =$ $= \frac{1}{200}$ н. в.	$\frac{1}{12,5^2} \cdot \frac{1}{2} =$ $= \frac{1}{312,5}$ н. в.
Полу- чаем на диа- грамме.	Поперечное измерение, т.-е. зазоры	$\frac{1}{2}$ н. в.	$\frac{1}{2}$ н. в.	$\frac{1}{2}$ н. в.
	Угловые величины φ раз больше действи- тельных.	8	10	12,5

Положим, что NM и PQ (чер. 42) окружности, изображающие наружный и внутренний рельсы, описанные радиусами

$$R_1 = \frac{R}{n^2} + \frac{s}{2} \text{ и } R_2 = \frac{R}{n^2} - \frac{s}{2}, \text{ т.-е. } R \text{ берем в } n^2 \text{ раз меньшем,}$$

расстояние же между рельсами взято в натуральную величину, а база—в n раз меньшем масштабе.

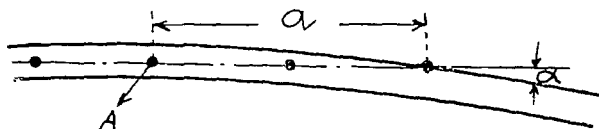
По только что доказанному AB получается в натуральную величину. Так как $E'B$ и EA изображаются в натуральную величину, то и $EE' = E'B - EB = E'B - (EA + AB)$ тоже будет в натуральную величину.



Чер. 42.

Возьмем вторую ось, проводим $RD \parallel AC$, получим, что $CD = AR = AB - BR$, при искажении масштаба AB и RB получаются в натуральную величину, следовательно, и CD будет в натуральную величину. Также можно доказать, что при данном способе построения зазоры всех осей получаются в натуральную величину.

Надо заметить, что, как было выведено, ошибки пропорциональны (l^4), то, следовательно, точность для разных осей будет разная.



Чер. 43.

Полагаем, что центральный угол, стягивающий хорду (базу), будет α , тогда (черт. 43):

$$l = R\alpha$$

По диаграмме же *Rou*'я получим:

$$l' = R'a';$$

откуда $\alpha = \frac{l}{R}$; $\alpha' = \frac{l'}{R'} = \frac{\frac{l}{n^2}}{\frac{R}{n}} = \frac{l}{R} n$, т.-е. угол, получаемый по

диаграмме *Rou*'я, в n раз более действительного.

Как было указано, расстояние между рельсами берется в натуральную величину $s = 1524 + \delta_2$ мм., что практически трудно выполнимо, поэтому *Rou*'ем предложено вычерчивать только ось кривого пути радиусом $\frac{R}{n^2}$, затем радиусами

$\frac{R}{n^2} + \frac{\delta_1}{2}$ и $\frac{R}{n^2} - \frac{\delta_1}{2} - \delta_2$ описываются другие две окружности,

где δ_1 —нормальная сумма зазоров между бандажами и рельсом, $\max \delta_1 = 15$ мм., а δ_2 — уширение в кривой, в зависимости от радиуса $\max \delta_2 = 20$ мм.

Другими словами, полагают, что расстояние между гранями бандажей = 1440 мм. равно нулю. В таком случае экипаж изображается линией, а скаты точками. Ширина колеи на диаграмме будет $\delta_1 + \delta_2 = \max (\delta_1 + \delta_2) = 15 + 20 = 35$ мм.

При вписывании экипажа в кривую надо иметь в виду, что если экипаж входит в кривую со значительной скоростью, то вследствие развивающейся центробежной силы все скаты стремятся прижаться к внешнему рельсу, такое вписывание называется динамическим.

При тихом ходе экипажа при вписывании экипаж направляется лишь передним скатом, задняя же стремится занять радиальное положение; такое вписывание называется статическим.

При статическом вписывании многоосного экипажа, при незначительной длине жесткой базы, последняя ось занимает положение, близкое к радиальному. При длинной же базе задняя ось, не дойдя до радиального положения, упирается во внутренний рельс и в таком виде (заклиненном) проходит кривую с повышенным сопротивлением.

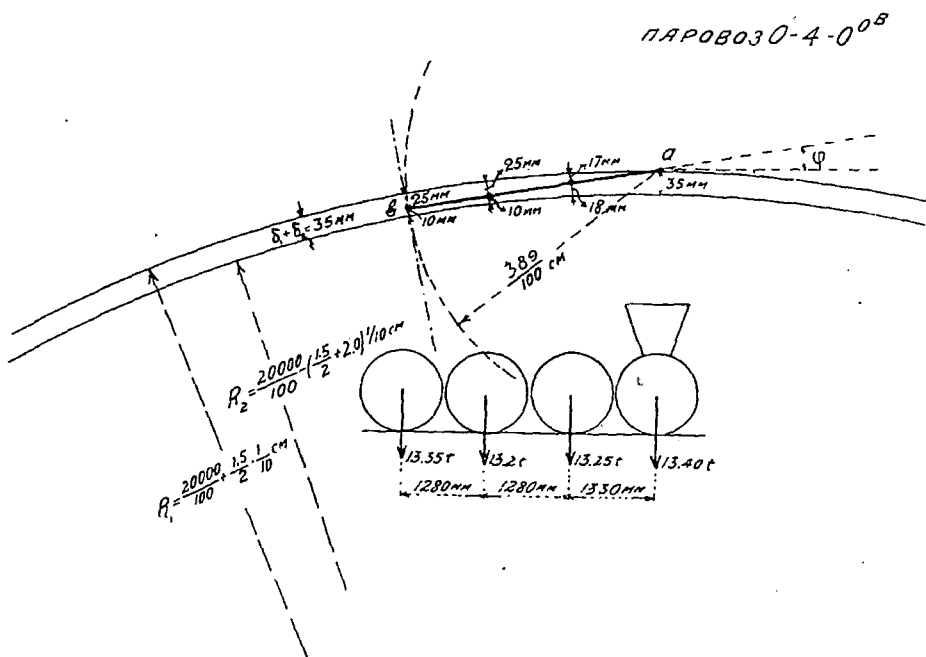
В том случае, когда средняя ось мешает задней оси занять радиальное положение, то толщина гребня бандажей средней оси уменьшается или делают ось подвижной.

Пример I. (чер. 44). Пользуясь способом *Rouy*'я, произведем построение вписывания в кривую $R=200$ м. паровоза 0—4—0^в
 Для практических целей достаточная точность построений достигается для $R=200$ м. при масштабе $\frac{1}{n} = \frac{1}{20}$, при этом вся диаграмма строится в $\frac{1}{2}$ н. в. величины и в данном случае при построении диаграммы *Rouy*'я надлежит пользоваться следующими масштабами:

Для ширины колеи $\frac{1}{2}$ н. в.

» базы , $\frac{1}{10} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{20}$ » »

» радиуса закруг. . . $\frac{1}{10^2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{200}$ » »



Чер. 44.

Для компактности диаграмма, в ущерб точности, построена в $\frac{1}{10}$ н. в. вместо $\frac{1}{2}$ н. в., и тогда значение масштабов будет иное, а именно:

$$\begin{aligned} \text{Для ширины колеи.} & \dots \dots \dots \frac{1}{10} \text{ н. в.} \\ \text{» базы} & \dots \dots \dots \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = \frac{1}{100} \text{ » »} \\ \text{» радиуса закруг.} & \dots \dots \dots \frac{1}{10^2} \times \frac{1}{10} = \frac{1}{1000} \text{ » »} \end{aligned}$$

За ширину колеи принимаем сумму нормальных зазоров между бандажами и рельсами, равную $\max \delta_1 = 15$ мм. сложенную с уширением в кривой равным при $R=200$ м. $\max \delta_2 = 20$ мм. Следовательно ширина колеи на диаграмме будет равна $\max \delta_1 + \max \delta_2 = 15 + 20 = 35$ мм.

Чертим в принятом масштабе $1/10$ н. в. ширину колеи равную $\max \delta_1 + \max \delta_2 = 35$ мм., для этого проводим две концентрических окружности, радиусами $R_1 = \left[\frac{20000}{1000} + \frac{1,5}{2} \times \frac{1}{10} \right]$ см.

$$\text{и } R_2 = \left[\frac{20000}{1000} - \left(\frac{1,5}{2} + 2,0 \right) \frac{1}{10} \right] \text{ см.}$$

Полагаем, что при вписывании паровоза наружное колесо переднего ската набегают на рельс, т.е. на диаграмме первая ось, изображенная точкой a , будет прикасаться к внешним рельсам, а задняя ось будет стремиться установиться радиально.

Найдем при этих условиях положение базы паровоза. Для этого из точки (a) радиусом, равным базе паровоза (в масштабе $\frac{389}{100} = 3,89$ см.), проводим дугу и из центра окружности проводим касательную к ней.

Если точка касания будет внутри окружности внутреннего рельса, то радиальное положение последняя ось занять не может, а будет прижата к внутреннему рельсу и в этом случае, соединяя точку пересечения с внутренним рельсом с точкой (a), получим положение базы паровоза.

В том случае, когда точка касания получается внутри колеи, для получения положения базы соединяем точку касания с точкой (a).

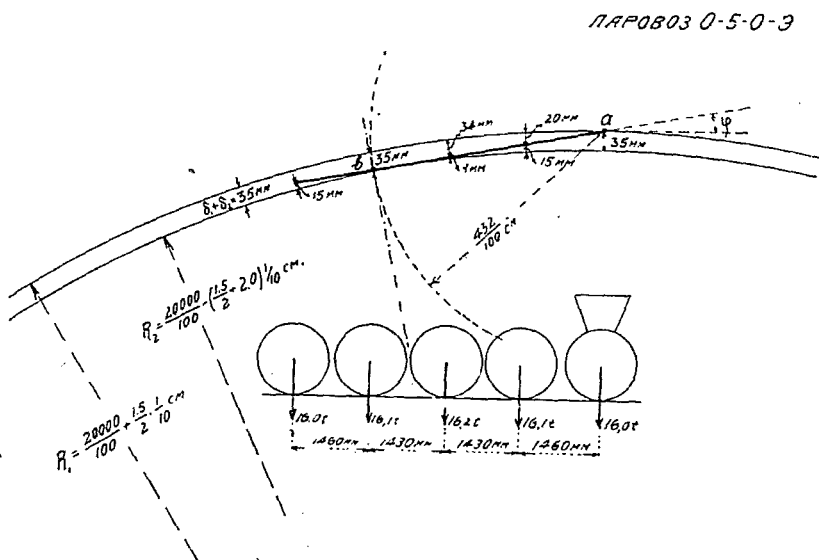
Откладываем в принятом масштабе от точки (a) расстояния от первой оси и до второй $\left[\frac{133}{100} \text{ см.} \right]$ и третьей

$\left[\frac{128+133}{100} \text{ см.} \right]$ получим положение осей на базе в виде точек.

Расстояние осей паровоза (точек) от наружной и внутренней кривой диаграммы дают величину зазоров между ребрами колес и соответствующими рельсами, эти расстояния измеряются в том же масштабе, в каком берется ширина колеи т.-е. $\frac{1}{10}$ н. в.

Угол набегания φ получается в 10 раз больше действительного.

Пример П. На черт. 45 произведено вписывание паровоза 0—5—0 Э в кривую радиуса $R=200$ м. Масштаб взят одинаковым с черт. 44.



Построение произведено при условии, что наружное колесо передней оси набегает на рельс, а IV ось стремится занять радиальное положение.

Поперечный разбег осей не учитываем.

V. ВОЗВЫШЕНИЕ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА В КРИВЫХ

§ 16. Возвышение наружного рельса в кривых, при существующих скоростях, не вызывается требованиями безопасности движения, а лишь экономическими соображениями, а именно: передать давление на оба рельса поровну и этим достигнуть равномерного износа наружного и внутреннего рельсов.

При существующих скоростях на кривых не может произойти опрокидывания подвижного состава под действием центробежной силы.

Назовем через:

- G —вес вагона.
- s —ширину колеи,
- m —массу вагона,
- v —скорость вагона в м/сек.,
- R —радиус кривой,
- g —ускорение силы тяжести=9,81 м/сек.²,
- H —расстояние центра тяжести вагона от головки рельса, принимаемое 2 м.

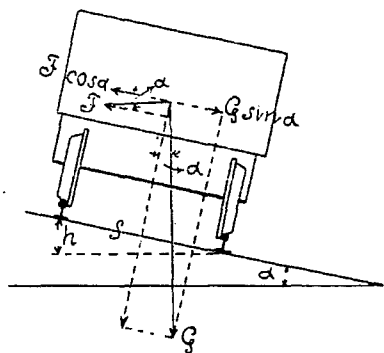
Центробежная сила (чер. 46)

F равна:

$$F = \frac{mv^2}{R} = \frac{Gv^2}{gR};$$

Опрокидывающий момент около точки соприкасания бандажа к рельсам будет при отсутствии возвышения наружного рельса:

$$M_0 = \frac{2Gv^2}{gR} \dots \dots \dots (45)$$



При весе вагона G и ширине колеи s сопротивляющийся момент будет:

$$M_c = \frac{Gs}{2} \dots \dots \dots (46)$$

Опрокидывание не произойдет при $M_o = M_c$, поэтому приравнивая ур. (45) и (46), получим предельную скорость v .

При допущенных скоростях, меньших v , опрокидывания не будет, в противном случае опрокидывание будет иметь место:

$$M_o = M_c = \frac{2Gv^2}{gR} = \frac{Gs}{2};$$

$$\text{откуда: } v^2 = \frac{sgR}{4}$$

$$\text{или: } v^2 = \frac{1,524 \times 9,81 R}{4}; \text{ и } v = 1,93 \sqrt{R \dots} (47)$$

В нижеследующей таблице показаны предельные скорости для разных значений R .

Таблица XVI.

R в м.	v м/сек.	V км/час. $\approx 3,6v$.
1600	77,2	278
900	57,9	209
625	48,2	174
400	38,6	139
225	29,0	105
100	19,3	70

Из таблицы видно, что действительные скорости значительно меньше скоростей, полученных в последней вертикальной графе таблицы XVI.

Пусть у нас имеется центробежная сила. F ; если наружный рельс будет выше внутреннего на величину h , то при отсутствии центробежной силы, кроме веса вагона G будет

центростремительная сила P , величина коей при ширине колеи s ¹⁾ (чер. 46) будет:

$$P = G \sin \alpha = G \frac{h}{s} \dots \dots \dots (48)$$

Для того, чтобы при повышенном наружном рельсе сила, выражающая вес вагона, проходила через середину пути, необходимо, чтобы составляющая центробежной силы на направление центростремительной силы была равна этой последней, т. е.:

$$F \cos \alpha = G \sin \alpha = G \frac{h}{s}, \text{ но так как:}$$

$F = \frac{mv^2}{R} = \frac{Gv^2}{gR}$, то, принимая за малостью угла α величину $\cos \alpha = 1$, будем иметь:

$$\frac{Gv^2}{gR} = \frac{Gh}{s} \text{ или } h = \frac{sv^2}{gR}.$$

Для тысячных сажени получаем:

$$h = 1000 \frac{0,714 \times 500^2}{4,6 \times 3600^2} \frac{v^2}{R} = 3 \frac{v^2}{R} \dots \dots (49)$$

Для миллиметров: ?

$$h = 1000 \frac{1,524 \times 1000^2}{9,81 \times 3600^2} \times \frac{v^2}{R} = 12,5 \frac{v^2}{R} \quad (50)$$

Теоретическое исследование сил взаимодействия, возникающих при движении подвижного состава в кривых и данные, полученные опытным путем, показывают, что для больших скоростей эта формула дает преувеличенное значение возвышения наружного рельса, сопряженное с повышением сопротивления при проходе по кривым и, следовательно, с износом рельсов. В виду этого на заграничных ж. д. применяются преимущественно эмпирические формулы. Наиболее распространенной является формула вида:

$$h = m \frac{v}{R} \dots \dots \dots (51)$$

В Германии коэффициент принимается равным $m = 500$, что для сажени дает $m = 118$; во Франции $m = 700$.

Изменение возвышения в зависимости от скорости по разным формулам видно из чер. 47 для $R = 500$ м.

¹⁾ Вместо ширины колеи S , надо взять расстояние между осями рельсов, но от этого результаты почти не изменяются.

Возвышение наружного рельса в кривой постоянного радиуса должно быть одинаковым на всем протяжении кривой.

Приравняем уравнение (50) и ур. (51), для $m = 500$, друг другу, получим скорость, при которой возвышения по обоим формулам равны:

$$\frac{12,5v^2}{R} = \frac{500v}{R} \dots \dots \dots (52)$$

откуда $v = 40$ км/час, т.-е. для скоростей 40 км/час меньшая величина возвышения получается по ур. (50), а при скоростях, больших 40 км/час, меньшие возвышения получаются по ур. (51).

Согласно резолюции XXXIII совещательного с'езда инженеров службы пути постановлено возвышение вычислять для скоростей до 40 $\frac{\text{км.}}{\text{час.}}$ по ур. (50), а свыше 40 км/час по ур. (51).

При вычислении возвышения надо условиться, какую скорость надо принимать при вычислении возвышения: скорость ли наибольшую пассажирских поездов или среднюю скорость товарных и пассажирских поездов.

Скорости прохождения подвижных составов по кривым разнятся от расчетных, принятых при определении возвышения рельса, так как разные поезда имеют разные скорости, а также при прохождении уклона и кривой однопутных ж. д. скорости одного и того же состава будут различны, в зависимости от направления движения. Вследствие этого центробежная сила всегда будет разниться от величины центростремительной.

$$\text{Если: } \frac{Gv^2}{gR} < \frac{Gh}{s}, \text{ то } J = \frac{Gh}{s} - \frac{Gv^2}{gR} > 0 \dots \dots \dots (53)$$

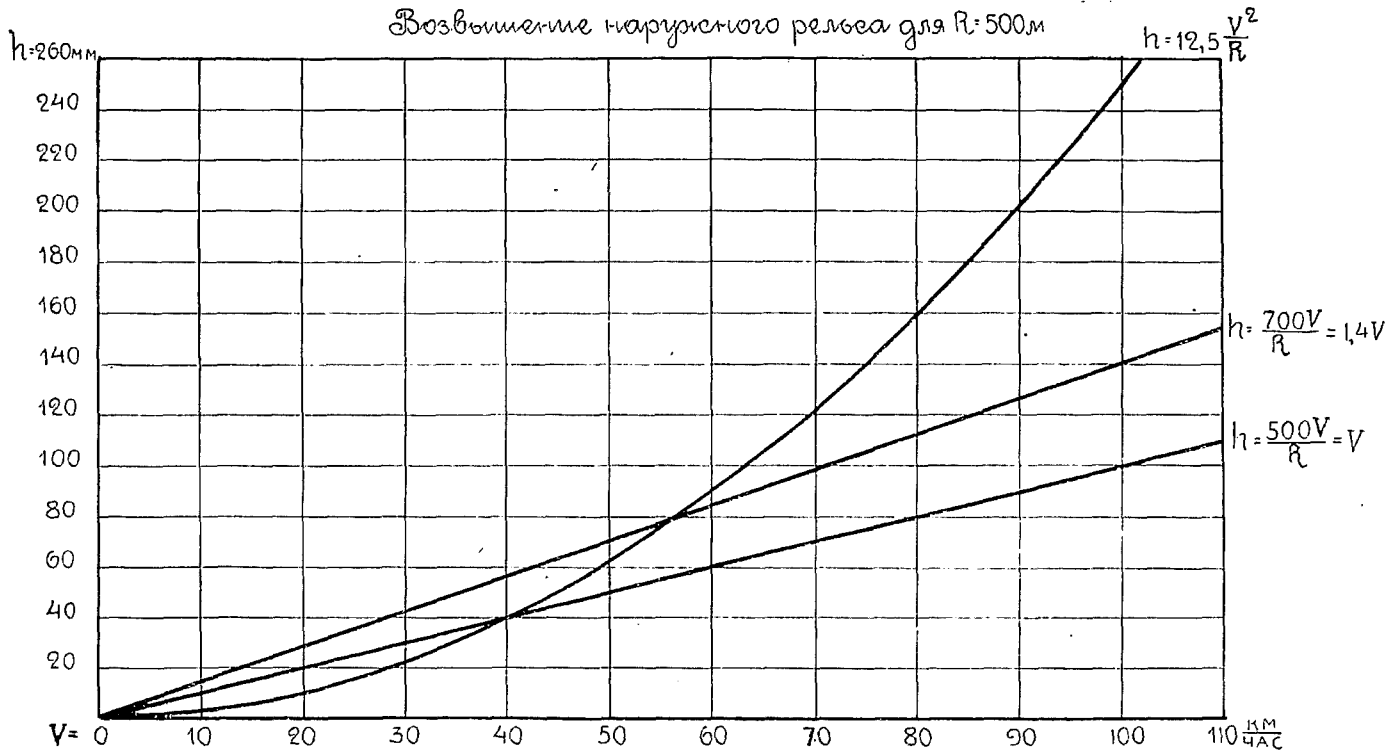
Сила J , приложенная к центру тяжести экипажа, создает опрокидывающий момент, который и будет опрокидывать экипаж около рельса или внутрь или наружу кривой по ур. (53); если экипаж движется медленно и скорость его v_0 будет меньше скорости v , принятой при расчете возвышения, т.-е.

$$v_0 < v,$$

то $\frac{Gh}{s} > \frac{Gv^2}{gR}$ и J направлена во внутрь, и момент вращения будет $M = 2 J$.

При скорости $v_0 > v$ будет иметь место обратное явление.

Возвышение наружного рельса для $R=500\text{м}$



Чер. 47.

Момент M заменяем парой сил k с плечом ширины колеи s , т.-е. $k = \frac{M}{s} = \frac{2J}{s}$ (54)

k — величина перегруза внутреннего колеса (если скорость меньше расчетной) над наружным может быть выражена так:

$$k = 2G \left(\frac{h}{s^2} - \frac{v^2}{gRs} \right) \dots \dots \dots (55)$$

Перегруз наружного колеса при отсутствии возвышения:

$$k_1 = \frac{2Gv^2}{gRs} \dots \dots \dots (56)$$

Примем среднюю перегонную скорость хода товарного поезда $v_1 = 20$ км/час., а пассажирского $v_2 = 50$ км/час. Для кривой радиуса $R = 200$ м. при скорости $v_2 = 50$, возвышение принимается по форм. $h = 500 \frac{v^2}{R} = 125$ мм.

Определим перегруз наружного рельса при $v_2 = 50$ км/час, $s =$ расстоянию между осями рельсов $= 1,60$ м.

$$v = 50 \text{ км/час} = \frac{50 \times 1000}{60 \times 60} = 13,9 \text{ м/сек.}$$

$$k = 2G \left(\frac{0,125}{1,6^2} - \frac{13,9^2}{9,81 \times 200 \times 1,6} \right) = 2G (0,0488 - 0,0619) = -0,0262 G.$$

Следовательно, происходит перегруз наружного колеса; при $G = 12,5$ тн. перегруз будет:

$$k = -0,0262 \times 12,5 = 0,33t \text{ или около } 2,7\%.$$

При прохождении же товарного поезда со скоростью $v_1 = 20$ км/час $= 5,56$ м/сек., получим перегруз внутреннего рельса:

$$k = 2G \left(\frac{0,125}{1,6^2} - \frac{5,56^2}{9,81 \times 200 \times 1,6} \right) = 2G (0,0488 - 0,0099) = 2G \times 0,0389; \text{ при } G = 12,5 \text{ тн., получим:}$$

$$k = 2 \times 12,5 \times 0,0389 = 0,973 \text{ тн., или около } 8\%.$$

При большей разнице скоростей получится и больший процент перегруза.

Во избежание этого, скорость должна быть принята средней для имеющих поездов, а именно, если имеется:

- n_1 — тов. поездов скорости v_1 ,
- n_2 — пасс. » » » v_2 ,

то средняя скорость

$$v = \frac{n_1 v_1 + n_2 v_2}{n_1 + n_2} = \frac{\frac{n_1}{n_2} v_1 + v_2}{\frac{n_1}{n_2} + 1};$$

и эта скорость должна быть принята в формулах.

Следует иметь в виду, что и такое вычисление дает преувеличенные результаты, так как эффект действия зависит не от числа поездов, а от числа прошедших осей пассажирских и товарных поездов. Отношение товарных к пассажирским осям $\frac{n_1}{n_2}$ колеблется (за 1911 г.) от 1,6 до 10 и среднее для Европейской части жел. дор. может быть принято в 4,5.

Если принять среднюю перегонную скорость хода товарных поездов v_1 в 20 км. и пассажирских поездов v_2 в 50 км., то расчетная скорость v будет при отношении $\frac{n_1}{n_2} = 10$ тов. к пасс. осям для Екат. ж. д.):

$$v = \frac{10 \times 20 + 50}{10 + 1} = 23 \text{ км.}$$

Для Северной ж. д., принимая отношение тов. к пасс. осям $\frac{n_1}{n_2} = 1,6$, получим:

$$v = \frac{1,6 \times 20 + 50}{1,6 + 1} = \frac{82}{2,6} = 32 \text{ км.,}$$

т.-е. в том и другом случае значительно менее скорости пассажирских поездов.

Анкеты, полученные XXXIV Съездом Сл. Пути с дорог, в большинстве случаев показывают большой износ внутреннего рельса, что служит доказательством, что у нас возвышение рельса несколько больше, чем нужно.

Надо иметь в виду, что при расположении кривых однопутных дорог на под'емах, при движении поездов в одну сторону (в под'ем) скорость будет меньше, при движении же в другую сторону (по скату) скорость будет больше и надо брать в этом случае среднюю скорость из этих двух.

На двухпутных линиях для кривых, расположенных на под'емах, надо иметь в виду, что для одного направления при вычислении возвышения наружного рельса надо брать скорость,

соответствующую под'ему, для другого же направления скорость, соответствующую скату, т.-е., вообще говоря, величины возвышения наружных рельсов для двухпутных линий будут разные для каждого пути. В большинстве же двухпутных дорог возвышение на* кривых, расположенных на уклонах, сделано одинаковым для обоих путей; как следствие такого устройства, замечается на пути, расположенном на под'еме, износ внутреннего рельса, так как поезд следует со скоростью, меньшей, нежели расчетная, принятая для определения возвышения рельса.

В заключение надо отметить, что возвышение на протяжении переходной кривой (см. гл. VI) постепенно переходит от нуля у начала переходной кривой до полной высоты у конца переходной кривой в точке ее примыкания к круговой кривой.

Все приведенные данные относятся к нормальной колее, что же касается узкой колеи, то, поскольку в выражении для возвышения ур. (49) и (50) колея входит в первой степени, возвышение должно быть соответственно меньше.

VI. ПЕРЕХОДНЫЕ КРИВЫЕ

§ 17. Общие указания.

Согласно технических условий сооружения магистральных железных дорог, возвышение h наружного рельса принимается, исходя из наибольших допускаемых скоростей в кривых, и приведено для разных радиусов R в нижеследующей таблице.

Таблица XVII.

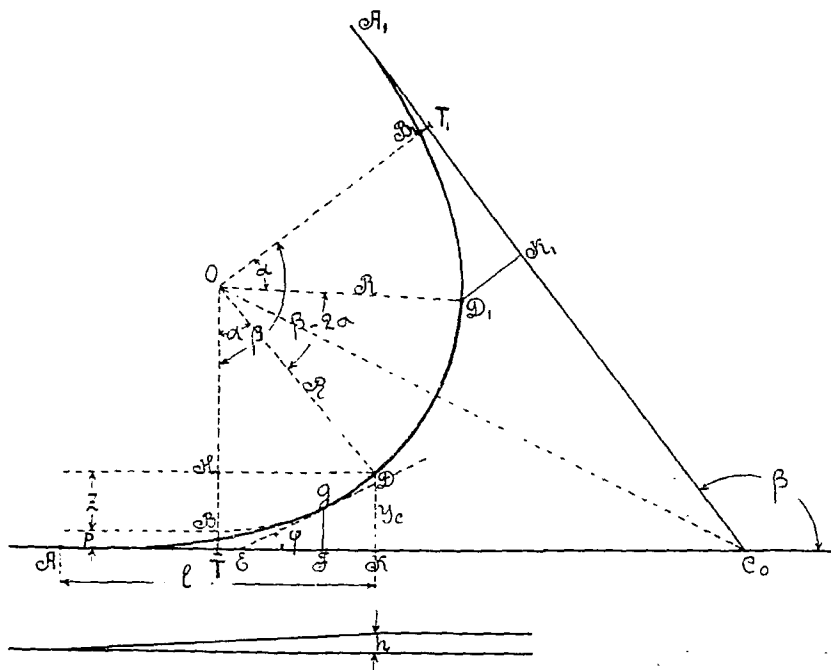
h в мм.	R в м.	Бо-														
		лее 1300	1300	1100	900	800	700	600	500	450	400	350	300	250	200	
		40	45	50	55	60	65	70	80	85	95	105	110	120	125	

Для данного радиуса кривой возвышение является вполне определенной величиной; на прямой возвышение равно нулю. Для постепенного перехода кривых данного радиуса R в прямую, где радиус равен бесконечности, применяют переходные кривые; на протяжении переходной кривой радиус от величины R увеличивается до бесконечности, возвышение от величины h уменьшается до нуля.

Пусть (чер. 48) от точки D в сторону D_1 идет круговая кривая радиуса R ; от A до D идет переходная кривая, радиус кривизны коей ρ меняется от $\rho = \infty$ в точке A до $\rho = R$ в точке D .

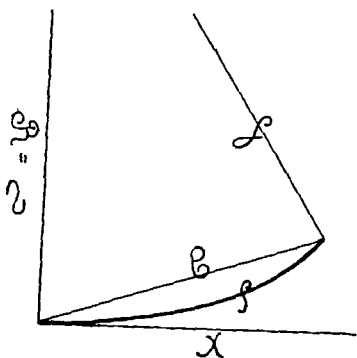
Такая же кривая имеется с противоположной стороны, от D_1 до A_1 .

Возвышение наружного рельса в точке A равно нулю, в точке D это возвышение, постепенно увеличиваясь, доходит до величины h , как это показано внизу чер. 48, далее же это возвышение остается постоянным.



Чер. 48.

Изменение радиуса кривизны может быть обратно пропорционально абсциссам x переходной кривой, хорде b или, наконец, обратно пропорционально длине кривой s ; таким образом, называя через C некоторый постоянный параметр, будем иметь (чер. 49):



Чер. 49.

$$\rho = \frac{C}{x} \dots \dots \dots (57)$$

$$\text{или } \rho = \frac{C}{b} \dots \dots (58)$$

$$\text{или } \rho = \frac{C}{s} \dots \dots (59)$$

Кривая, удовлетворяющая ур. (57), есть кубическая парабола, кривая, удовлетворяющая ур. (58) лемниската Вернули, и, наконец, ур. (59) дает радиодальную спираль.

Разберем переходную кривую, удовлетворяющую ур. (57).

Для любой точки кривой будем иметь ур. (57), а для точки, соответствующей началу круговой кривой и концу переходной кривой, получим, вставляя в ур. (57) $\rho = R$ и $x = l$:

$$R = \frac{C}{l} \quad \dots \quad (60)$$

Ур. (57) и (60) дают:

$$C = \rho x = Rl \quad \dots \quad (61)$$

$$\text{или } \frac{1}{\rho} = \frac{x}{Rl} \quad \dots \quad (62)$$

Выражение радиуса кривизны для кривой будет:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad \dots \quad (63)$$

В виду малости угла переходной кривой и больших значений радиусов, величину $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\varphi$ (черт. 48) можно принять равной нулю, тогда:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{Rl} \quad \dots \quad (64)$$

Интегрируя, получим:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2Rl} + C_1 \quad \dots \quad (65)$$

Так как для $x = 0$ и $\frac{dy}{dx}$, т.-е. угол, составленный касательной к переходной кривой с осью абсцисс, тоже равен нулю, то $C_1 = 0$ и

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2Rl} \quad \dots \quad (66)$$

Интегрируя далее, получим:

$$y = \frac{x^3}{6Rl} + C_2 \quad \dots \quad (67)$$

Так как для $x = 0$ и $y = 0$, то $C_2 = 0$ и

$$y = \frac{x^3}{6Rl} \quad \dots \quad (68)$$

Ур. (68) есть уравнение кубической параболы; на чер. 48 нанесена кубическая парабола. Вся круговая кривая—угла β ; если бы переходной кривой не было, то круговая кривая шла бы на протяжении BDD_1B_1 , при чем начало кривой расположится выше оси абсцисс на расстоянии p .

Круговая кривая радиуса R на протяжении дуги BD (B_1D_1) заменяется переходной кривой AD (A_1D_1).

Называя проекцию переходной кривой AD на ось абсцисс через l , получим для абсциссы $X = l$, по ур. (68), величину y_l ,

$$y_l = \frac{l^2}{6R} = \frac{l^3}{6C} \dots \dots \dots (69)$$

Для абсциссы $x = \frac{l}{2}$ и середины кривой:

$$y_c = \frac{l^2}{48R} = \frac{l^3}{48C} \dots \dots \dots (70)$$

Из чер. 48 видно, что касательная в любой точке G составляет с осью абсцисс угол, величина коего определяется ур. (66).

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2Rl};$$

Из $\triangle EFG$ видно, что

$$GF = y \text{ и } EF = \frac{GF}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{x^3}{6Rl} : \frac{x^2}{2Rl} = \frac{x}{3} \dots \dots \dots (71)$$

т.-е. касательная к кубической параболе отсекает на оси абсцисс одну треть абсциссы X .

Из $\triangle OHD$ будем иметь:

$HD = OD \sin \alpha = R \sin \alpha$ или, в виду малости угла α , можно принять $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$ и тогда:

$HD = R \operatorname{tg} \alpha$, а имея в виду, что для точки D величина $\operatorname{tg} \alpha$ определится из ур. (66), по подстановке в него $x = l$, получим:

$$HD = R \frac{l^2}{2Rl} = \frac{l}{2} \dots \dots \dots (72)$$

откуда следует, что $AT = TK = HD \dots \dots \dots (73)$

или перпендикуляр, опущенный на ось X -ов из центра круговой кривой, дает точку T , относительно которой проекция l переходной кривой расположена на длину $\frac{l}{2}$ в каждую сторону.

Назовем отрезок HB через Z , тогда HD или $\frac{l}{2}$ будет средним пропорциональным между этим отрезком Z и величиной $2R - Z$ или, за малостью Z по сравнению с $2R$, получим:

$$\left(\frac{l}{2}\right)^2 = 2RZ \text{ или } Z = \frac{l^2}{8R} \dots \dots \dots (74)$$

Касательная к началу B круговой кривой будет отстоять от оси абсцисс на длину p , при чем, называя ординату точки D через y_l , будем иметь:

$$p + Z = y_l = \frac{l^2}{6R} \text{ или } p = \frac{l^2}{6R} - Z = \frac{l^2}{R} \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{8}\right) = \\ = \frac{l^2}{24R} \dots \dots \dots (75)$$

Из изложенного ясно, что если нам надо разбить кривую угла β , то от точки T , где должен быть тангенс кривой, мы должны отложить в обе стороны по величине $\frac{l}{2}$; далее отложить величину p , определяемую для данных l и R по ур. (75).

Точка B , отстоящая на величину p от точки T , будет началом круговой кривой; переходная кривая для разных значений x определится из ур. (68).

Обычно задаются условием, чтобы возвышение рельса по таблице XVII сходило на нет уклоном в 0,001, 0,002 или 0,003.

Согласно технических условий сооружения магистральных железных дорог нормального типа, уклон отвода в 0,001 считается нормальным для кривых любого радиуса; однако, при стесненной трассе и радиусе в 1000 м. и менее допускается уклон отвода повышения в 0,002, а в особо тяжелых условиях для радиуса 600 м. и менее уклон отвода допускается в 0,003.

Уклон отвода должен быть не более 0,003 и наибольшая его величина определяется следующими соображениями: пусть по переходной кривой идет трехосный вагон с базой $\sim 7,5$ метра. Так как точки касания для колес разных осей с внутренним рельсом находятся в одном горизонте, то оба эти колеса и колесо, находящееся на внешнем рельсе и идущее в подъем по уклону отвода впереди, определяют плоскость. Другое колесо при разгрузке оси может подняться; принимая высоту реборды колеса в 25 мм. и базу трехосного вагона в 7500 мм., получим, что поднявшаяся реборда коснется головки рельса своим ниж-

ним краем и для того, чтобы возможность схода была исключена, уклон отвода должен быть не круче $25 : 7500 = 1/300$.

В таблице XVIII показаны длины переходных кривых для $i = 0,001, 0,002$ и $0,003$.

Таблица XVIII.

Длина переходных кривых.

R в м. = . . .	Болез 1300	1300	1100	900	800	700	600	500	450	400	350	300	250	200
h в мм. = . . .	40	45	50	55	60	65	70	80	85	95	105	110	120	125
l при $i = 0,001$.	40	45	50	55	60	65	70	80	85	95	105	110	120	125
l при $i = 0,002$.	—	—	—	28	30	33	35	40	43	48	53	55	60	63
l при $i = 0,003$.	—	—	—	—	—	—	24	27	29	32	35	37	40	42

Если в целях уменьшения износа рельсов, благодаря тому, что действительные скорости требуют меньших величин возвышений рельса, чем то приведено в табл. XVI, возвышения будут приняты меньше указанных величин, то все-таки длина переходной кривой определяется по таблице XVIII, при чем уклон будет положе.

Всякая кубическая парабола имеет точку перегиба, где радиус достигает наименьшей величины; очевидно, что величина угла, α соответствующая длине переходной кривой, не может быть более угла, составленного касательной с осью X -ов в точке перегиба.

Обозначим:

$$\frac{1}{6Rl} = \frac{1}{6C} \text{ через } C_1, \text{ тогда:}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 6C_1x, \quad \frac{dy}{dx} = 3C_1x^2 \text{ и } y = C_1x^3 \quad (76)$$

Вставим величины по ур. (76) в общее выражение для радиуса кривизны:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{6C_1x}{(1 + 9C_1^2x^4)^{3/2}} \quad (77)$$

Наименьшее значение ρ будет соответствовать наибольшему значению величины $\frac{1}{\rho}$, т.-е. точке перегиба параболы; беря первую производную по x от ур. (77) и приравнявая ее нулю, получим:

$$\frac{3}{2} 6C_1 x [1 + 9C_1^2 x^4]^{-5/2} - 36C_1^2 x^3 = 6C_1 [1 + 9C_1^2 x^4]^{-3/2}$$

или $54C_1^2 x^4 = 1 + 9C_1^2 x^4 \dots \dots \dots (78)$

или $x^4 = \frac{1}{45C_1^2}$ или $x = \frac{1}{\sqrt[4]{45C_1^2}} \dots \dots \dots (79)$

или $x = \frac{0,3861}{\sqrt{C_1}}$ и вставляя значение x в ур. (77), получим:

$$\frac{1}{\rho_{min}} = \frac{6 \times 0,3861 \sqrt{C_1}}{(6/5)^{3/2}} = 1,7623 \sqrt{C_1} \text{ и } \rho_{min} = \frac{1}{1,7623 \sqrt{C_1}} = \frac{\sqrt{6} \sqrt{Rl}}{1,7623} = 1,39 \sqrt{Rl} \dots \dots \dots (80)$$

Из ур. (76) и (79) получим:

$$tg \varphi = \frac{dy}{dx} = 3C_1 x^2 = \frac{3C_1}{C_1 \sqrt{45}} = \frac{3}{\sqrt{45}} = 0,4472$$

и $max \varphi = \alpha = 24^{\circ} 5' 41'' \dots \dots \dots (81)$

т.-е. из ур. (81) получаем, что длина переходной кривой по кубической параболе должна быть такова, что заменяемая ею часть круговой кривой была не более угла α , определяемого ур. (81).

Для точки начала круговой кривой и конца переходной кривой будем иметь:

$$tg \alpha = \frac{l}{2R}$$

Что касается величины параметра $C = Rl$, то он будет зависеть от величины R и длины l по таблице XVII.

В нижеследующей таблице XIX приведены данные для параметра $C = Rl$, для l при уклоне отвода в 0,001, величины $tg \alpha$ и α .

Таблица XIX. ¹⁾

R в м.	1300	1100	900	800	700	600	500	450	400	350	300	250	200
h в мм.	45	50	55	60	65	70	80	85	95	105	110	120	125
l в м.	45	50	55	60	65	70	80	85	95	105	110	120	125
$C = Ri$	58500	55000	49500	48000	45500	42000	40000	38250	38000	36750	33600	30000	25000
$tg \alpha = \frac{l}{2R}$	0,017307	0,022722	0,030556	0,037500	0,046428	0,058333	0,080000	0,094444	0,118750	0,150000	0,183333	0,2400	0,312500
α	59'30"	1°18'6"	1°45'1"	2°08'52"	3°39'24"	3°20'19"	4°34'26"	5°23'43"	6°46'20"	8°31'51"	10°23'20"	13°29'45"	17°21'15"

¹⁾ Эта таблица составлена для уклона отвода в 0,001; аналогичную таблицу можно составить для уклонов отвода в 0,002 и 0,003. 8

Из таблицы XIX видно, что угол α не превышает $24^{\circ}5'41''$, т.-е. устройство кубической параболы возможно.

Величина угла β круговой кривой должна быть $\geq 2\alpha$; если $\beta < 2\alpha$, то две переходные кривые не поместятся, и они будут соприкасаться в точке с радиусом кривизны $\rho > R$. Если $\beta = 2\alpha$, то переходные кривые поместятся в обрез и радиус кривизны в точке соприкосновения переходных кривых будет R . Если $\beta > 2\alpha$, то длина круговой кривой будет соответствовать углу $\beta - 2\alpha$.

Пример. Пусть $R = 600$ м. и $\beta = 5^{\circ}$; определить радиус в примыкании двух переходных кривых. Как видно из таблицы XIX, для $R = 600$ м. величина $2\alpha = 6^{\circ}40'38''$, что более β . Поэтому переходные кривые соприкасаются. Из таблицы XIX:

Для $R = 700$ м. будем иметь $2\alpha = 5^{\circ}18'48''$ и $l = 65$ м.

» $R = 800$ м. » » $2\alpha = 4^{\circ}17'44''$ и $l = 60$ м.

Величину l для 2α в 5° получим, интерполируя для нашего $2\alpha = 5^{\circ}$ между углами для $R = 700$ и 800 м., $l = 63$ м., далее будет иметь:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{2R} = \operatorname{tg} 2^{\circ}30' \text{ и}$$

$$R = \frac{63}{2 \operatorname{tg} 2^{\circ}30'} = 722 \text{ м. и } y_l = \frac{63^3}{6 \cdot 722 \cdot 63} = 0,92 \text{ м.}$$

Обращаясь к таблице XIX, мы видим, что в связи с заданными, установленными техническими условиями сооружения магистралей, величинами возвышений, параметры C меняются от 58500 до 25000.

Величина возвышения наружного рельса h в мм. или, при уклоне отвода в 0,001, длина l переходной кривой в метрах равна:

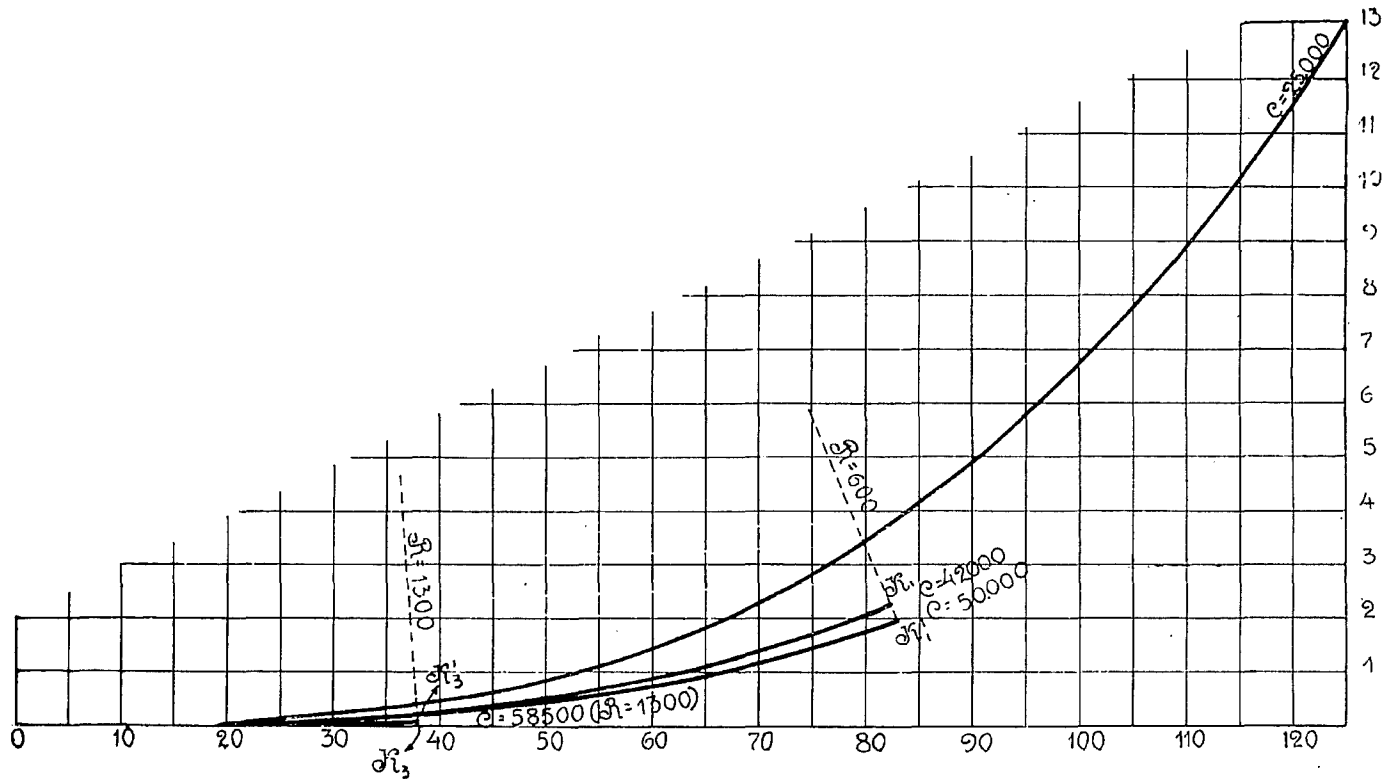
$$\text{Для } v < 40 \text{ км/час } l = \frac{12,5 V^2}{R}.$$

$$\text{Для } v > 40 \quad \gg \quad l = \frac{500 V}{R}.$$

Так как $C = Rl$, то при применении второй формулы получим $C = 500V$.

Приравняв $500V$ величине параметра, согласно табл. XIX, получим нижеследующие расчетные скорости для кривых разных радиусов (табл. XX).

R_M	1300	1100	900	800	700	600	500	450	400	350	300	250	200
$C = \dots$	58500	55000	49500	48000	45500	42000	40000	38250	38000	36750	33000	30000	25000
V расчетн.	117	110	99	96	91	84	80	76,5	76	73,5	66	60	50
$C_{II} \dots$	50000	50000	50000	50000	50000	50000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	25000
$I_{II} \dots$	38	45	55	62,5	71	83	70	78	87	100	117	140	125
$I \dots$	45	50	55	60	65	70	80	85	95	105	110	120	125
i_{II} для лет.	1,18	1,11	1,00	0,98	0,92	0,85	1,14	1,09	1,09	1,00	0,94	0,86	1,00



т.-е. скорости меняются от 50 до 117 км. и так как нет скорости менее 40 км/час, то применима формула $\frac{500V}{R}$. Следует иметь в виду, что при разных параметрах C мы имеем для кривой каждого радиуса свою определенную параболу. Из рассмотрения таблицы XX видно, что для радиусов от 600 м. и выше параметр, в среднем, в 50000, что дает возможность иметь одну параболу для указанных радиусов.

Для радиусов от 250 до 600 м. можно было бы иметь другую кубическую параболу с параметром в 35000; для радиуса 200 м. можно оставить параметр C в 25000. В таблице XX указано новое значение l_n для указанного параметра в $C=50000$ и выписано значение l , предложенное техническими условиями сооружения магистральных железных дорог при разных параметрах. Как видно, разницы получаются не очень большие.

В последней строке табл. XX показаны величины уклонов отводов (более одной тысячной или менее) при $h_{ст}$ по технич. условиям и величине l_n .

На чер. 50 для $R=600$ м. построена кубическая параболу $C=42000$ по форм. $y=\frac{x^3}{bc}$; тоже сделано для $R=1300$ м. и $C=58500$. В нижеследующей таблице XXI приведены ординаты через каждые 10 м. и ординаты концов кривых для кубических парабол при $C=58.000, 50.000, 42.000,$ и 25.000 (см. таблицу на стр. 101).

Из чер. 50 видно, что если для группы круговых кривых радиусом от 600 м. и выше принять кубическую параболу с параметром $C=50000$ (или другой параметр), то эта параболу будет служить переходной кривой для всех кривых не круче радиуса в 600 м., и мы будем пользоваться лишь разными отрезками этой параболы. Так, например, для $R=1300$ м. отрезок будет OK'_3 , для $R=600$ м.—отрезок OK'_1 ; если же для разных радиусов будут разные параметры, то для каждой круговой кривой будем иметь свою параболу, которая будет тем ближе расположена к оси абсцисс, чем более ее параметр. Для $R=1300$ имеем параболу OK_3 , расположенную ниже параболы OK'_3 , а для $R=600$ м.—параболу OK_1 , расположенную выше параболы OK'_1 .

Как видно из таблицы XX, l_n отличаются от l по техническим условиям; изменение длин l_n при постоянном параметре

x= . . .	10	20	30	38	40	45	50	60	70	80	83	90	100	110	120	125
C = 58500 .	0,003	0,027	0,090	0,183	0,213	0,304	0,417	0,720	1,143	1,707	1,906	2,43	3,33	4,40	5,76	6,51
C = 50000 .	0,003	0,023	0,077	0,156	0,182	0,260	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C = 42000 .	0,004	0,032	0,107	0,218	0,254	0,362	0,496	0,867	1,361	2,032	2,269	—	—	—	—	—
C = 25000 .	0,006	0,054	0,180	0,366	0,426	0,608	0,834	1,440	2,286	3,414	3,812	4,86	6,67	8,80	11,52	13,02

Вертикальный масштаб взят на чер. 50 в десять раз крупнее горизонтального, в целях наглядности чертежа.

($C = 50000$) повлечет и изменение величины возвышения наружного рельса. Если желательно было бы оставить возвышение, соответствующее техническим условиям, а кубическую параболу оставить одну для группы радиусов от 600 м. и выше, то это привело бы к изменению уклона отвода. В последней графе таблицы XX показано, каковым должен быть уклон отвода в тысячных (для $R = 1300$ м.—одна и восемнадцать сотых тысячной и т. д.), при применении одной параболы и возвышении согласно техническим условиям.

Устройство единой параболы облегчает разбивку и упрощает сопряжение переходной кривой двух смежных кривых (коробовых), расположенных в одну сторону (см. ниже).

Определим длину переходной кривой.

Действительная длина переходной кривой несколько больше ее проекции; для элементарной длины дуги ds будем иметь:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = dx \sqrt{1 + tg^2\alpha} \text{ или,}$$

вставляя вместо $tg\alpha$ его величину $\frac{x^2}{2Rl}$, будем иметь:

$$ds = dx \left(1 + \frac{x^4}{4R^2l^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (82)$$

Разлагая в ряд и ограничиваясь вторым членом, получим:

$$ds = dx \left(1 + \frac{x^4}{8R^2l^2} \right) \text{ и далее:}$$

$$s = \int_0^l \left(1 + \frac{x^4}{8R^2l^2} \right) dx = l + \frac{l^5}{40R^2l^2} = l + \frac{l^3}{40R^2} = l \left(1 + \frac{l^2}{40R^2} \right) \dots (83)$$

Величина в скобках показывает коэффициент удлинения действительной длины кубической параболы по сравнению с ее проекцией; в нижеследующей таблице XXII для l , соответствующих уклону отвода возвышений в одну тысячную и для разных значений R , приведены значения коэффициента по ур. (83).

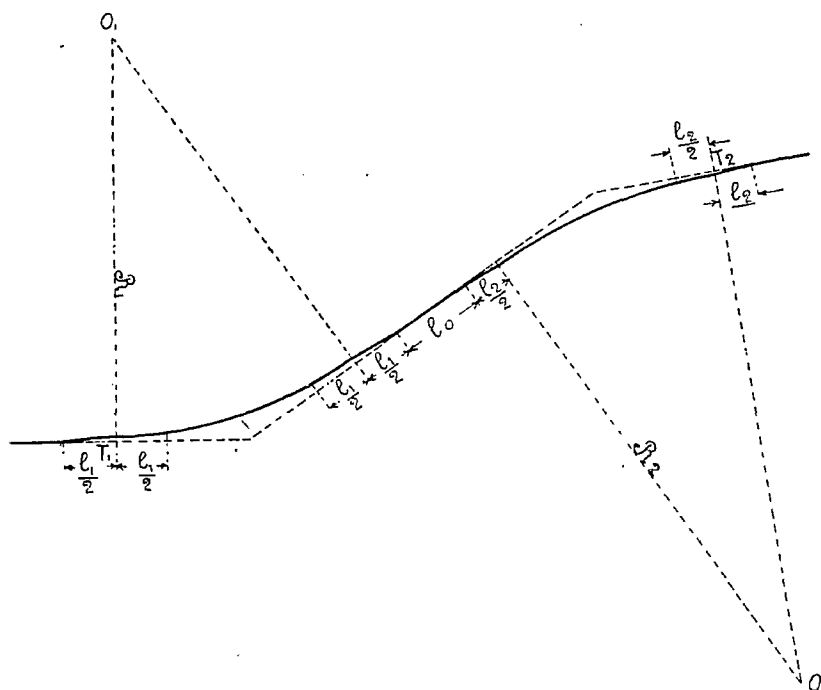
Т а б л и ц а XXII.

R в м.	1300	1100	900	800	700	600	500	400	300	200
h в мм.	45	50	55	60	65	70	80	95	110	125
l в м.	45	50	55	60	65	70	80	95	110	125
Коэф.	1,000030	1,000052	1,000093	1,000141	1,000210	1,000340	1,000640	1,001410	1,003361	1,009768

Длина переходной кривой, показанной в таблице XIX, располагается относительно тангенса (начала) круговой кривой таким образом, что половина ее проекции располагается в пределах прямой, а другая половина—в пределах круговой кривой (см. чер. 48). Если имеем две обратные круговые кривые радиуса R_1 и R_2 (чер. 51), то от T_1 и T_2 круговых кривых откладываем

$\frac{l_1}{2}$ и $\frac{l_2}{2}$, соответствующие половине длин по таблице XIX, для

соответствующих значений R_1 и R_2 .



Чер. 51.

Согласно техническим условиям сооружений и проектирования магистралей, между обратными кривыми должна быть еще прямая вставка l_0 , равная 60 м., т.-е.—длине трех пульмановских вагонов, а в крайнем случае—20 м., т.-е. длине одного пульмановского вагона. Таким образом, строительная (на

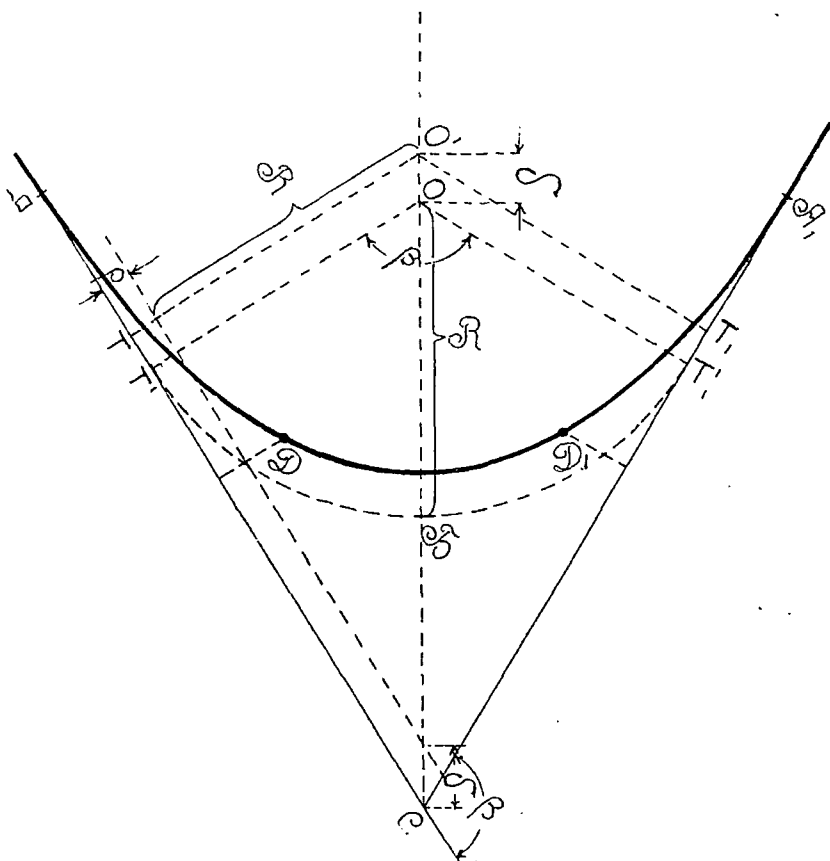
продольном профиле) вставка L между тангенсами двух обратных круговых кривых равна:

$$L = \frac{l_1}{2} + \frac{l_2}{2} + l_0 \dots \dots \dots (84)$$

где l_0 желательно иметь в 60 м., но она должна быть не менее 20 м.

Полная длина кривой ADD_1A_1 , равная S_n , с углом поворота β складывается из длин двух переходных кривых, равных AD и A_1D_1 и круговой кривой DD_1 и равна (чер. 52):

$$S_n = l + \frac{\pi R (\beta - 2\alpha)}{180} + l = 2l + \frac{\pi R (\beta - 2\alpha)}{180} \dots (85)$$



Чер. 52.

где l — длина самой переходной кривой, а не длина ее проекции.

Сумма расстояний от вершины угла до начал переходных кривых A и A_1 равна:

$$\begin{aligned} T &= AC + CA_1 = AT + TC + CT_1 + T_1A_1 = \\ &= 2 \left[\frac{l}{2} + (R + p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \right] = l + 2(R + p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} . . (86) \end{aligned}$$

Отсюда домер, т.-е. длина, на которую надо увеличивать следующий за углом пикет, получается:

$$\begin{aligned} d &= T - S_n = l + 2(R + p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - 2s - \frac{\pi R (\beta - 2\alpha)}{180} = \\ &= 2(R + p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - \left[\frac{\pi R (\beta - 2\alpha)}{180} + l \right] . . . (87) \end{aligned}$$

Пример. Радиус круговой кривой $R = 500$ м., угол поворота $\beta = 35^\circ$, уклон отвода повышения $i = 0,001$.

Для простоты при изысканиях сопряжение прямых всегда разбивается, как круговая кривая радиуса R , не принимая во внимание переходной кривой.

Перед приступом к постройке производится разбивка по переходным кривым.

Пусть при изысканиях разбита круговая кривая (чер. 52) $T''BT_1'$ радиуса R и отбиты тангенсы $T''C = T_1'C = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 157,65$ м.

При введении переходных кривых круговая кривая сдвигается во внутрь кривой и центр ее перемещается по биссектрисе на величину:

$$\delta = OO' = \frac{p}{\cos \frac{\beta}{2}} = \frac{0,533}{0,9537} = 0,560 \text{ м.},$$

и проекция центра сдвинутой круговой кривой будет отстоять от вершины угла C на величину:

$$CT'' = (R + p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + p \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = CT'' + T'T''.$$

Находим основные элементы переходной кривой:

$$\begin{aligned} S_n &= 2s + \frac{\pi R (\beta - 2\alpha)}{180} = 80,05 \times 2 + \frac{3,14 \times 500 (35^\circ - 4^\circ 34' \times 2)}{180} = \\ &= 385,70 \text{ м.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= 2(R + p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - \left[\frac{\pi R (\beta - 2\alpha)}{180} + l \right] = 157,82 \times 2 - \\ &- 305,70 = 9,94 \text{ м.} \end{aligned}$$

$$l = 80 \text{ м.}; p = \frac{l^2}{24 R} = 0,533 \text{ м.}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{80}{2 \times 500} = 0,08;$$

$$\alpha = 4^\circ 34'; \quad 2 \alpha = 9^\circ 8' < 35^\circ.$$

Откладываем от вершины угла длину CT , получим проекцию центра круговой кривой радиуса $R + p = 500,533$ — это и будет проекция середины переходной кривой:

$$CT = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + p \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 157,65 + 0,17 = 157,82 \text{ м.}$$

От полученной точки откладываем половину длины переходной кривой $\frac{l}{2} = 40$ м., получим точку A — начало переходной кривой. Затем, пользуясь формулой (68), приводим разбивку переходной кривой через 10 м. по таблице.

Таблица XXIII, ординат y .

$x =$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$y = \frac{x^3}{6 R l} = \frac{x^3}{240000}$	0	0,004	0,033	0,113	0,267	0,521	0,900	1,429	2,133

Разбивку круговой кривой DD_1 производят по существующим таблицам, принимая за начало координат точку T . Откладывая табличные абсциссы от точки T по прямой TC , соответствующие им ординаты увеличиваем на $p = 0,533$, каковые и откладываем на перпендикулярах к TC .

В нижеследующей таблице XXIV приведены значения p для разных радиусов по форм. (75).

Таблица XXIV.

$R_{\text{в.м.}} =$	1300	1100	900	800	700	600	500	450	400	350	300	250	200
$p_{\text{в.м.}} =$	0,065	0,095	0,140	0,187	0,251	0,340	0,533	0,669	0,940	1,310	1,681	2,400	3,255

В настоящее время при постройке жел. дорог переходные кривые всегда устраиваются; однако, на целом ряде эксплуатируемых дорог переходных кривых не было устроено при постройке, поэтому их приходится устраивать. Самый простой

способ заключается в передвижке всей кривой на величину p (чер. 48) и разбивке переходных кривых; однако, такая сдвигка возможна лишь при незначительной величине p (не свыше 0,20 — 0,25 м.), т.-е. для часто применяемого радиуса в 600 м. сдвигку уже делать нельзя.

Если сдвигать ось нежелательно, то поступают следующим образом.

Уменьшают радиус круговой кривой (чер. 53) на таком протяжении, чтобы касательная к круговой кривой уменьшенного радиуса, параллельная прямому участку, отстояла бы от последнего на величину p ; основная же круговая кривая остается на месте.

При таком способе сопряжения переходная кривая переходит в точке C в круговую радиуса r . В точке E круговая кривая радиуса r переходит в круговую радиуса $R > r$.

Чем более разница $(R - r)$, тем больший получается толчок при проходе подвижного состава, поэтому величину $R - r$ надо делать возможно меньше. На протяжении CE возвышение соответствует радиусу R .

Пусть основная круговая кривая разбита радиусом R и тангенс ее находится в точке T . Вводим от точки E круговой кривой радиуса R до точки C круговую кривую радиуса $r < R$; переходная кривая примыкает к этой кривой в точке C , внутри профильной кривой.

Пусть $r < R$ — заданная величина. Длина переходной кривой кубической параболы определяется по таблице по радиусу r ; так как переходная кривая примыкает к круговой кривой радиуса r , то y выражается уравнением:

$$y = \frac{x^3}{6rl}$$

Точка C — конец, а K — середина и O — начало переходной кривой; p — длина, на которую касательная к круговой кривой радиуса r должна отстоять от OB , определяется:

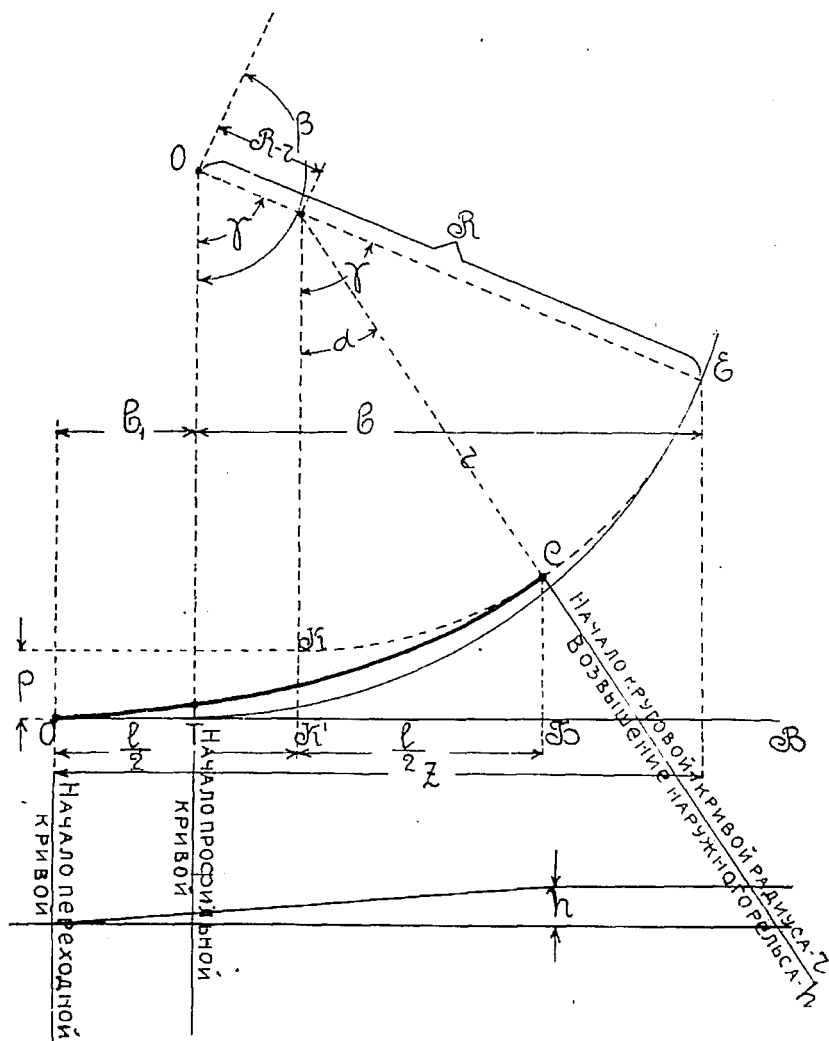
$$p = \frac{l^2}{24r}$$

Центральный угол, соответствующий дуге TE , определяется из выражения:

$$\cos \gamma = \frac{R - r - p}{R - r} = 1 - \frac{p}{R - r}$$

Очевидно, что угол всей кривой должен быть не менее 2γ .
 b_1 —расстояние начала переходной кривой от тангенса профильной кривой—определяется:

$$b_1 = \frac{l}{2} - (R-r) \sin\gamma \quad \dots \quad (88)$$



Чер. 53.

Абсцисса точки E соприкосновения круговых кривых будет:

$$b + b_1 = R \sin\gamma + \left[\frac{l}{2} - (R-r) \sin\gamma \right].$$

• Ордината этой же точки y_l будет:

$$y_l = R (1 - \cos \gamma) = p \frac{R}{R-r} \dots \dots \dots (89)$$

Длина кривой $CE = S_1$;

$$S_1 = \frac{\pi r (\gamma - \alpha)}{180}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{2r}.$$

Длина всей составной кривой OE :

$$S = l + \frac{\pi r (\gamma - \alpha)}{180}.$$

Полная длина кривой:

$$S_0 = 2l + \frac{2 \pi r (\gamma - \alpha)}{180} + \frac{\pi R (\beta - 2\gamma)}{180}.$$

Величина домера $= 2T + l - S_0 =$

$$= 2R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - \left[l + \frac{\pi r (\gamma - \alpha)}{90} + \frac{\pi R (\beta - 2\gamma)}{180} \right].$$

При разбивке переходной кривой сначала восстанавливают тангенс профильной кривой радиуса R , затем откладывают от него расстояние b_1 , — получают начало переходной кривой. При разбивке переходной кривой пользуются формулой $y = \frac{x^3}{6rl}$.

Круговая кривая радиуса r разбивается по таблице.

Принимая начало координат в точке k' , соответственно увеличиваем ординаты на p .

Что касается величины r , то таковая должна быть взята таким образом, чтобы γ была больше α .

Так как:

$$p = (R-r) (1 - \cos \gamma) = \frac{l^2}{24r} = \frac{l^2 r^2}{24r^3} = \frac{C^2}{24r^3} \dots \dots \dots (90)$$

Далее:

$$b = R \sin \gamma,$$

то будем иметь:

$$b = \frac{RC \sqrt{48r^3 (R-r) - C^2}}{24r^3 (R-r)} = \frac{Rl \sqrt{48r (R-r) - l^2}}{24r(R-r)}$$

или, обозначая $r = \alpha R$, где $\alpha < 1$, получим:

$$b = \frac{Rl \sqrt{48 R^2 \alpha (1-\alpha) - l^2}}{24 R^2 \alpha (1-\alpha)} = \frac{l \sqrt{48 \alpha (1-\alpha) - \left(\frac{l}{R}\right)^2}}{24 \alpha (1-\alpha)}. \quad (91)$$

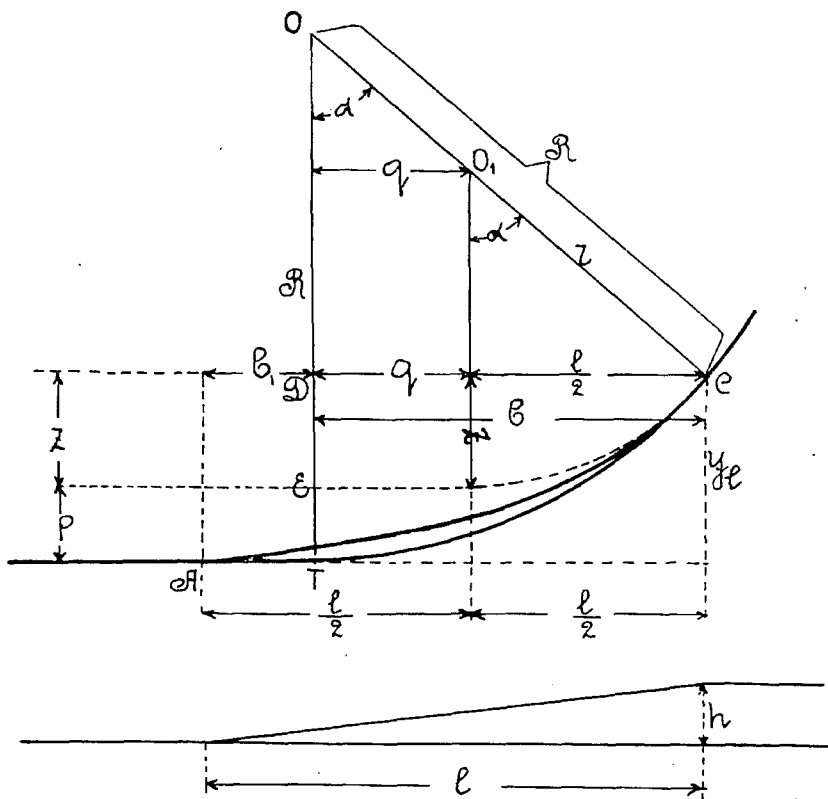
Коэффициент $1-\alpha$ может быть принят около $1/12$; в частности, *Sarrazin* и *Oberbeck* рекомендуют брать:

для $R =$ до 160 м. величину $R-r = 10$ м.

» » 300 » 600 м. » » = 25 »

» » 600 » 1200 м. » » = 50 »

» » 1200 » 3000 м. » » = 100 »



Чер. 54.

Пример. Пусть $R = 800$ м. и $r = 700$ м. Для $r = 700$ м. получим $l = 65$ м. и $p = 0,251$ м.; по форм. (91) получим

$b = 56,5$ м.; $\cos \gamma = 1 - \frac{0,251}{100} = 0,99749$ и $\gamma = 4^{\circ}3'$; и далее:

$$b_1 = \frac{l}{2} - (R-r) \sin \gamma = 32,5 - 100 \times 0,0706 = 25,44 \text{ м.}$$

$b + b_1 = 56,5 + 25,44 = 81,94$ м.; $\alpha = 2^{\circ}39'$; $\gamma - \alpha = 1^{\circ}24'$.

Длина BB (чер. 53) равна $81,94 - 65 = 16,94$ м.

Если задаться условием, что $\alpha = \gamma$, т.е. обратить кривую меньшего радиуса r в фиктивную кривую или, иначе говоря, прямо сделать переходную кривую для меньшего радиуса, то, как видно из нижеследующего расчета, величина $r = 0,75 R$.

Полагая, что точка C совпадет с точкой E и называя через: q — расстояние, считая по оси абсцисс, между центрами O и O_1 кривых радиуса r и R ;

b — расстояние начала переходной кривой от начала круговой кривой T ;

y_e — ординаты точки C , — получим:

$$\left(q + \frac{l}{2}\right)^2 = (2R - y_l) y_l \quad \dots \quad (92)$$

и пренебрегая y_l , по сравнению с $2R$, получим:

$$q = \sqrt{2Ry_l} - \frac{l}{2} \quad \dots \quad (93)$$

Далее имеем:

$$r = \frac{l}{2 \sin \alpha}; \quad q = (R - r) \sin \alpha; \quad \frac{l}{2r} = \frac{q}{R - r} \text{ и } r = \frac{lR}{2q + l} \quad \dots \quad (94)$$

Подставляем в выражение для r величину q :

$$r = \frac{lR}{2 \sqrt{2Ry_l}}; \quad \text{так как } y_l = \frac{l^2}{6r}, \text{ то:}$$

$$r = \frac{lR}{2 \sqrt{\frac{2Rl^2}{6r}}} \quad \text{или } r = 0,75R \quad \dots \quad (95)$$

Далее будем иметь:

$$y_r = \frac{l^2}{6r} = \frac{2l^2}{9R}; \quad p = \frac{y_e}{4}; \quad \frac{y_e}{2} = \frac{p}{2}; \quad \sin \alpha = \frac{l}{2r} = \frac{2l}{3R} \quad \dots \quad (96)$$

$$q = (R - r) \sin \alpha = \frac{R}{4} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{l}{R} = \frac{l}{6} \quad \dots \quad (97)$$

$$b_1 = \frac{l}{2} - q = \frac{l}{3}$$

$$y = \frac{x^3}{6rl} = \frac{2}{9} \frac{x^3}{Rl}$$

Ордината кривой в точке T , для $b_1 = \frac{1}{3} l$, будет:

$$\frac{2l^2}{243R} \quad \dots \quad (98)$$

Определение радиуса, при котором можно переходных кривых не устраивать.

На основании предшествующих выводов имеем:

$$p = \frac{l^2}{24R} \quad \text{и} \quad C = lR, \text{ откуда:}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{C^2}{24p}}.$$

Задавая наименьшей величиной p , обычно не свыше 1 см., получим для $C = 50000$ (см. выше):

$$R = 2150 \text{ м. или округленно—} 2000 \text{ м.}$$

При меньшем значении параметра и R будет меньше.

Радиодальная спираль. При выводе уравнения кубической параболы было сделано допущение, что $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = tg^2\varphi = 0$,

вследствие этого уравнение $\rho = \frac{C}{x}$ будет достаточно точным только до некоторого предела радиуса кривизны. Радиус кривизны переходной кривой, в месте перехода в круговую, не будет равен радиусу круговой кривой, и разница будет тем больше, чем $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = tg^2\alpha = \left(\frac{l}{2R}\right)^2$ будет больше нуля, что будет иметь место при малых радиусах.

Радиодальная спираль при всяких радиусах кривизны точно удовлетворяет уравнению:

$$\rho = \frac{C}{s} \quad \dots \dots \dots (99)$$

Отнесем радиодальную спираль к прямоугольной системе координат. Для этой цели воспользуемся следующей зависимостью:

$$\rho = \frac{ds}{d\varphi} \quad \dots \dots \dots (100)$$

где s —длина дуги, φ —угол, образуемый касательной к кривой с осью абсцисс

$$\text{или} \quad \rho = \frac{ds}{d\varphi} = \frac{C}{s}; \quad s ds = C d\varphi \quad \dots \dots \dots (101)$$

Берем интеграл в пределах от 0 до s и, замечая, что при $\varphi = 0$ и $s = 0$, получим:

$$\int_0^s s ds = C \int_0^\varphi d\varphi; \quad s^2 = 2C\varphi \quad \dots \dots \dots (102)$$

При переходе к прямоугольным координатам воспользуемся формулами:

$$dx = ds \cos\varphi \text{ и } dy = ds \sin\varphi.$$

Вставляя в эти формулы:

$$ds = \frac{Cd\varphi}{s} = \frac{Cd\varphi}{\sqrt{2C\varphi}} = \sqrt{\frac{C}{2}} \cdot \frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi}}, \text{ получим:}$$

$$dx = \sqrt{\frac{C}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi}} \cos\varphi = \frac{\sqrt{2C} \cos\varphi}{2\sqrt{\varphi}} d\varphi \dots (103)$$

$$dy = \sqrt{\frac{C}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi}} \sin\varphi = \frac{\sqrt{2C} \sin\varphi}{2\sqrt{\varphi}} d\varphi \dots (104)$$

Берем интеграл выражений (103) и (104) в пределах от 0 до φ и, замечая, что при $\varphi = 0$ $x = y = 0$, получим:

$$x = \frac{\sqrt{2C}}{2} \int_0^\varphi \frac{\cos\varphi}{\sqrt{\varphi}} d\varphi \text{ и } y = \frac{\sqrt{2C}}{2} \int_0^\varphi \frac{\sin\varphi}{\sqrt{\varphi}} d\varphi.$$

Разложим $\cos\varphi$ и $\sin\varphi$ в ряд:

$$x = \frac{\sqrt{2C}}{2} \int_0^\varphi \left(\frac{\varphi^{-1/2}}{1} - \frac{\varphi^{3/2}}{1.2} + \frac{\varphi^{7/2}}{1.2.3.4} - \frac{\varphi^{11/2}}{1.2.3.4.5.6} \dots \right) d\varphi$$

$$y = \frac{\sqrt{2C}}{2} \int_0^\varphi \left(\frac{\varphi^{1/2}}{1} - \frac{\varphi^{3/2}}{1.2.3} + \frac{\varphi^{5/2}}{1.2.3.4.5} - \frac{\varphi^{7/2}}{1.2.3.4.5.6.7} \dots \right) d\varphi$$

$$x = \sqrt{2C}\varphi \left(1 - \frac{\varphi^2}{5.1.2} + \frac{\varphi^4}{9.1.2.3.4} - \frac{\varphi^6}{13.1.2.3.4.5.6} + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{\varphi^{4n}}{(8n+1) 4n!} - \frac{\varphi^{(4n+2)}}{(8n+5) (4n+2)!} \right) \dots (105)$$

$$y = \sqrt{2C}\varphi \cdot \varphi \left(\frac{1}{3} - \frac{\varphi^2}{7.1.2.3} + \frac{\varphi^4}{11.1.2.3.4.5} - \frac{\varphi^6}{15.7!} + \dots \right. \\ \left. + \frac{\varphi^{4n}}{(8n+3) (4n+1)!} - \frac{\varphi^{(4n+2)}}{(8n+7) (4n+3)!} \right) \dots (106)$$

Подставляя в уравнения (105) и (106) $\varphi = \frac{s^2}{2C}$, получим:

$$x = s \left(1 - \frac{s^4}{40C^2} + \frac{s^8}{3456C^4} \dots \right) \dots (107)$$

$$y = \frac{s^3}{2C} \left(\frac{1}{3} - \frac{s^4}{168C^2} + \frac{s^8}{21120C^4} \dots \right) \dots (108)$$

При больших радиусах, ограничиваясь первыми членами рядов (105) и (106), получим уравнение кубической параболы. Полученные ряды выражений для x и y —ряды быстро сходящиеся.

Из уравнений (105) и (106), а также из выражения радиуса:

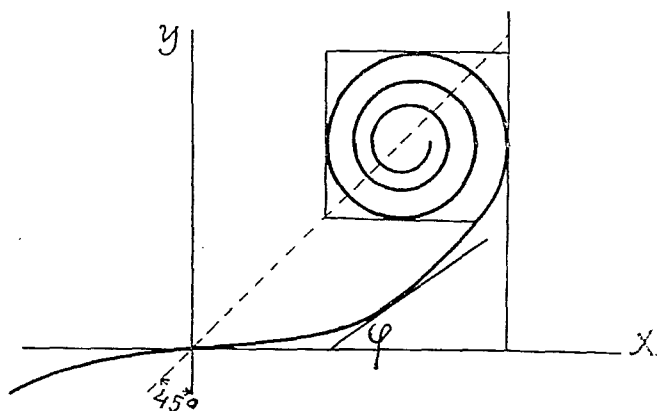
$$\rho = \frac{C}{s} = \sqrt{\frac{C}{2\varphi}} \quad \text{следует (чер. 55):}$$

при $\varphi = 0$, $x = y = 0$;

» $\varphi = \frac{\pi}{2}$ — абсцисса x точки касания (C) будет иметь наибольшую величину;

» $\varphi =$ от $\frac{\pi}{2}$ до π — абсцисса точки касания уменьшается, а ордината возрастает;

» $\varphi = \pi$ — ордината точки касания имеет наибольшую величину;



Чер. 55.

$\varphi =$ от π до $\frac{3\pi}{2}$ — обе координаты точек касания уменьшаются;

$\varphi = \frac{3\pi}{2}$ — абсцисса точки касания имеет наименьшую величину;

$\varphi =$ от $\frac{3\pi}{2}$ до 2π — абсциссы точек касания увеличиваются, а ординаты уменьшаются;

при $\varphi = 2\pi$ — ордината точки касания имеет наименьшую величину и т. д.

Следующие обороты кривая делает аналогично первому. Отсюда получается, что радиодальная кривая имеет вид спирали с бесконечным числом оборотов около некоторой точки P и достигает ее при $\varphi = \infty$.

Определим элементы, потребные при разбивке переходных кривых по радиодальной спирали.

Пусть от точки O до D уложена переходная кривая—спираль (чер. 56):

$$\rho = \frac{C}{s},$$

а далее от D идет круговая кривая.

Пусть в точке D радиус переходной кривой равняется радиусу круговой $\rho = R$, а так как для точки D $s = l$, где l —длина переходной кривой, взятая из таблицы, то:

$$\rho = \frac{C}{s} = R = \frac{C}{l} \text{ или } C = Rl \dots \dots \dots (109)$$

Угол α касательной к кривой в конце ее (точке D) и осью абсцисс:

$$\alpha = \frac{s^2}{2C} = \frac{l^2}{2Rl} = \frac{l}{2R} \dots \dots \dots (110)$$

Величина p , на которую необходимо отодвинуть круговую кривую от оси абсцисс для возможности устройства переходной спирали, определяется:

$$p = y_g + R \cos \alpha - R \dots \dots \dots (111)$$

где y_g —ордината точки D и абсцисса ее, определяемые из уравнений (107) и (108).

Координаты центра круговой кривой (t , q) определяются из уравнений:

$$t = x_g - R \sin \alpha = x_g - R \sin \left(\frac{l}{2R} \right) \dots \dots \dots (112)$$

$$q = y_g + R \cos \alpha = y_g + R \cos \left(\frac{l}{2R} \right) \dots \dots \dots (113)$$

Полная длина кривой выражается формулой:

$$s = 2l + \frac{\pi R (\beta - 2\alpha)}{180}.$$

Расстояние вершины угла до начала переходной кривой:

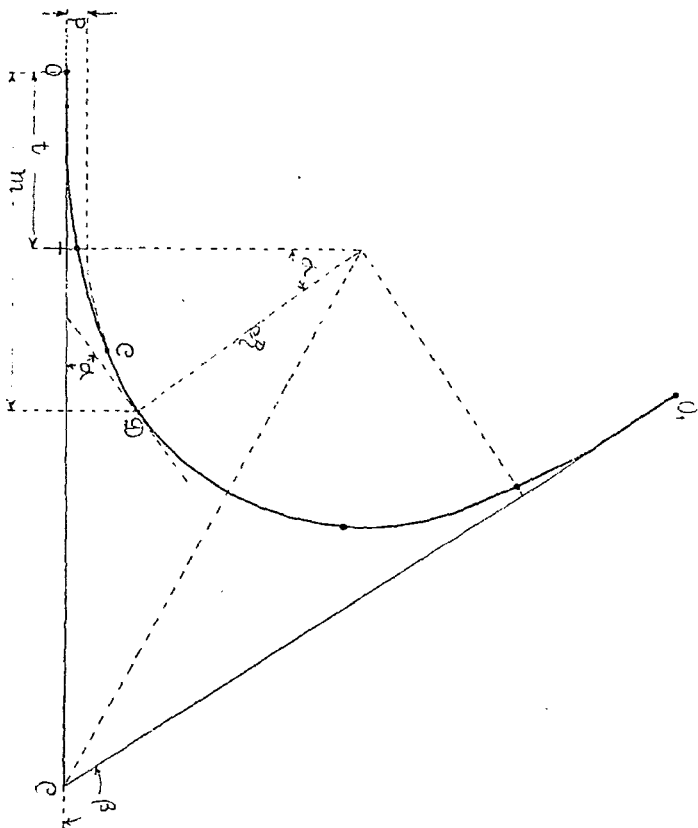
$$CO = CO_1 - CT + t = (R+p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + x_g - R \sin \alpha = x_g + R \left(\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - \sin \alpha \right) + p \operatorname{tg} \frac{\beta}{2};$$

Разность $2CO - s$ даст домер.

Пример. Угол поворота $\beta = 50^\circ$; $i = 0,002$; $R = 500$ м.
 Определяем элементы переходной кривой.
 Длина переходной кривой, по таблице, $l = 40$ м.

$$\alpha = \frac{l}{2R} \times 206269,81 = 2^\circ 17' 31''.$$

Параметр $C = Rl = 40 \times 500 = 20000$ м.



Чер. 56.

Координаты конечной точки переходной кривой:

$$x_g = 40 - \frac{40^5}{40 \times 20000^2} + \frac{40^9}{3456 \times 20000^4} = 39,99 \text{ м.}$$

$$y_g = \frac{40^3}{6 \cdot 20000} - \frac{40^7}{336 \cdot 20000^3} + \frac{40^{11}}{42240 \cdot 20000^5} = 0,533 \text{ м.}$$

$$p = y_g + R \cos \alpha - R = 0,533 + 500 \times 0,9992 - 500 = 0,133 \text{ м.}$$

Расстояние тангенса круговой кривой от начала переходной кривой:

$$t = x_g - R \sin \alpha = 39,99 - 500 \sin 2^{\circ}17'31'' = \\ = 39,99 - 500 \times 0,03999 = 20,00 \text{ м.}$$

Полная длина кривой:

$$s = 2l + \frac{\pi R(\beta - 2\alpha)}{180} = 2 \times 40 + \frac{3,14 \times 500 (50^{\circ} - 2 \times 2^{\circ}17'31'')}{180} = \\ = 476,13 \text{ м.}$$

Домер:

$$2CO - s = 2(CT + t) - s = 2(233,22 + 20) - 476,13 = 30,37 \text{ м.,}$$

$$\text{где } CT = (R + p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = (500 + 0,133) \operatorname{tg} 25^{\circ}.$$

Разбивка производится так:

Откладывая от вершины угла $CT = 233,22$, получим горизонтальную проекцию центра круговой кривой радиуса $(R + p) = 500,133$.

От точки T откладываем $t = 20,00$ м., — получим начало переходной кривой; переходную кривую разбиваем через 10 м., вычисляя координаты по формулам (105) и (106), получим:

$S = 0$	10	20	30	40
$x = 0$	10	20	30	39,99
$y = 0$	0,008	0,067	0,225	0,533

Круговая кривая разбивается по таблице, принимая за начало координат точку T , все абсциссы увеличиваются на $p = 0,133$ м.

§ 18. Кривые переменного радиуса, заменяющие круговые кривые.

Иногда прямые, направленные под углом, соединяются кривыми высшего порядка. Для таковой цели наиболее удобной является радиодальная спираль, так как радиус кривизны ее с увеличением длины постепенно уменьшается.

Пусть дан угол поворота β (чер. 57), требуется произвести сопряжение прямых помощью радиодальной спирали таким образом, чтобы наименьший радиус был бы равен наперед заданной величине $\rho_{\min} = R$, а в точках соприкосновения с прямыми (T и T_1) $\rho = \infty$.

Положим, что прямые TC и T_1C , направленные под углом β , сопряжены радиодальной спиралью TDT_1 , состоящей из двух ветвей— $TD = DT_1$, соприкасающихся в точке D . Точка D лежит на биссектрисе угла TCT_1 и имеет наименьший радиус кривизны $\rho = R$.

Проведем касательную qq_1 к точке D . Касательная qDq_1 составляет с TC угол, равный $\frac{\beta}{2}$.

Для определения параметра C возьмем выражение радиуса кривизны в точке D и величину длины спирали TD :

$$\rho = R = \frac{C}{s}; \quad s = \sqrt{2C\rho} = \sqrt{2C\frac{\beta}{2}},$$

откуда определяем величину параметра:

$$C = Rs = R \sqrt{2C\frac{\beta}{2}}; \quad C^2 = R^2 2C\frac{\beta}{2}; \quad C = R^2\beta.$$

При построении ветви TD за ось x -ов принимается направление TC , а при построении ветви T_1D за ось x -ов принимается направление T_1C .

Определим элементы, необходимые для построения радиодальной спирали TD .

Длина ветви TD :

$$s = R \sqrt{2\beta^2} = R \sqrt{\frac{2\beta^2}{2}} = R\beta.$$

Координаты любой точки спирали определяются по формулам:

$$x = s - \frac{s^5}{40C^2} + \frac{s^9}{3456 C^4} \dots \quad (114)$$

$$y = \frac{s^3}{6C} - \frac{s^7}{336C^3} + \frac{s^{11}}{42240 C^5} \dots \quad (115)$$

Подставляя в уравнения (114) и (115) $s = R\beta$, получим координаты точки D — $(x_0$ и $y_0)$.

Расстояние CT точки касания спирали с прямой от вершины угла C :

$$CT = CN + NT = y_0 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + r_0.$$

Расстояние вершины спирали (точка D) от вершины угла:

$$CD = \frac{y_0}{\cos \frac{\beta}{2}}$$

Длина сопрягающей радиодальной спирали:

$$TDT_1 = 2s = \frac{2C}{R} = 2R\beta.$$

Пример. Пусть дан угол поворота $\beta = 21^{\circ}0,5'$, $R = 300$.
Величина параметра:

$$C = R^2\beta = 300^2 \times \frac{3,14 \cdot 21,0083}{180} = 33000 \text{ м.}$$

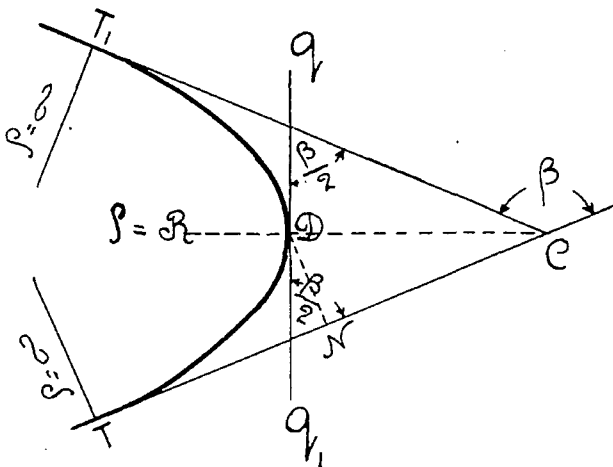
Длина ветви спирали:

$$s = R\beta = 110 \text{ м.}$$

Координаты точки D :

$$x_0 = 110 \left(1 - \frac{110^4}{40.33000^2} + \frac{110^8}{3456.33000^4} \right) = 109,63 \text{ м.}$$

$$y_0 = \frac{110^3}{6.33000} - \frac{110^7}{336.33000^3} + \frac{110^{11}}{42240.33000^5} = 6,706 \text{ м.}$$



Чер. 57.

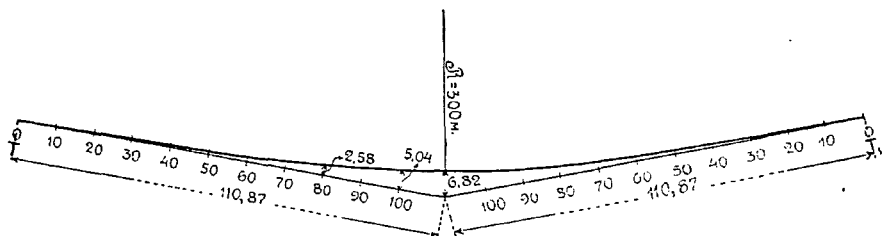
Расстояние точки касания спирали с прямой от вершины угла C :

$$CT = 6,706 \operatorname{tg} \frac{21^{\circ}0,5'}{2} + 109,63 = 110,87 \text{ м.}$$

Биссектриса:

$$CD = \frac{6,706}{\cos \frac{21^{\circ} 0,5'}{2}} = 6,82 \text{ м.}$$

Длина сопрягающей спирали $TDT = 2s = 220 \text{ м.}$



Чер. 57-а.

Откладывая от вершины угла $CT = 110,87 \text{ м}$, получим начало координат, относительно которого и производится разбивка кривой, вычисляя координаты по форм. (114) и (115).

В данном случае величины координат получаются следующие:

$s = 0$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
$s - x = 0$	0	0	0	0	0,01	0,02	0,04	0,08	0,14	0,23	0,37
$y = 0$	0,005	0,040	0,136	0,323	0,631	1,091	1,732	2,584	3,678	5,042	6,706

В качестве такой же кривой могут быть применены две ветви парабол, при условии только, что угол β был не более 2α (табл. XIX).

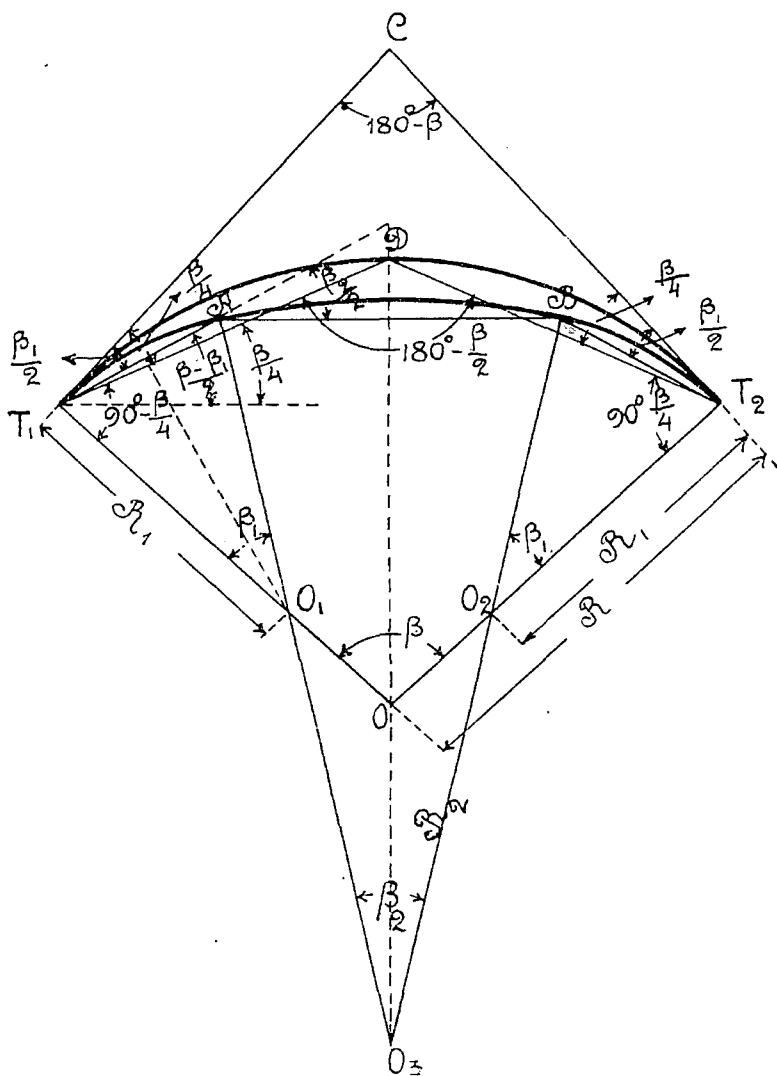
§ 19. Коробовые кривые и сопряжение их переходной кривой.

Симметричное и несимметричное расположение коробовых кривых.

Коробовые кривые могут быть расположены симметрично относительно линии DO (чер. 58) и их тогда бывает обычно три (редко пять), или же они расположены несимметрично. Применение коробовых кривых обычно имеет место в том случае, когда по условиям местности трудно подобрать однообразный для всей кривой радиус.

Пусть кривая радиуса R проходит через T_1 и T_2 и вершину кривой D ; по условиям местности желательно, чтобы кривая примыкала в T_1 и T_2 и, кроме того, проходила через точки A и B .

Пусть этому условию удовлетворяют три кривые, из коих две крайние угла β_1 и радиуса R_1 , а средняя угла β_2 и радиуса R_2 , при чем имеем:



Чер. 58.

$$2\beta_1 + \beta_2 = \beta \quad \dots \dots \dots (116)$$

$$\text{и } R_1 < R < R_2 \quad \dots \dots \dots (117)$$

Из чер. 58 видно, что:

$$\angle CT_1A = \angle CT_2B = \frac{\beta_1}{2} \dots \dots \dots (118)$$

$$\angle CT_1D = \angle CT_2D = \frac{\beta}{4} \dots \dots \dots (119)$$

$$\angle T_1DT_2 = 180^\circ - \frac{\beta}{2} .$$

Далее будем иметь из $\triangle T_1O_1A$ (или T_2O_2B):

$$\frac{T_1A}{2} = R_1 \sin \frac{\beta_1}{2} \dots \dots \dots (120)$$

Из $\triangle AO_3B$:

$$\frac{AB}{2} = R_2 \sin \frac{\beta_2}{2} \dots \dots \dots (121)$$

$$T_1T_2 = 2R \sin \frac{\beta}{2} \dots \dots \dots (122)$$

Далее проектируем линию T_1ABT_2 на линию T_1T_2 :

$$(T_1A + T_2B) \cos \frac{\beta - \beta_1}{2} + AB = T_1T_2 = 2R \sin \frac{\beta}{2} =$$

$$-4R_1 \sin \frac{\beta_1}{2} \cos \frac{\beta - \beta_1}{2} + 2R_2 \sin \frac{\beta - 2\beta_1}{2}$$

или после преобразования:

$$\sin \frac{\beta_1}{2} \cos \frac{\beta - \beta_1}{2} (2R_1 R_2) + R_2 \cos \frac{\beta_1}{2} \sin \frac{\beta - \beta_1}{2} = R \sin \frac{\beta}{2} . (123)$$

В ур. (123) правая часть—определенная величина, неизвестны R_1 , R_2 и β_1 . Задаваясь двумя, определится третья величина.

Пусть $R = 600$ м., $\beta = 100^\circ$; $\beta_1 = 30^\circ$ и $\beta_2 = 40^\circ$ и $R_1 = 400$ м., тогда будем иметь R_2 около 875 м. Можно задаться обоими радиусами и получить β_1 .

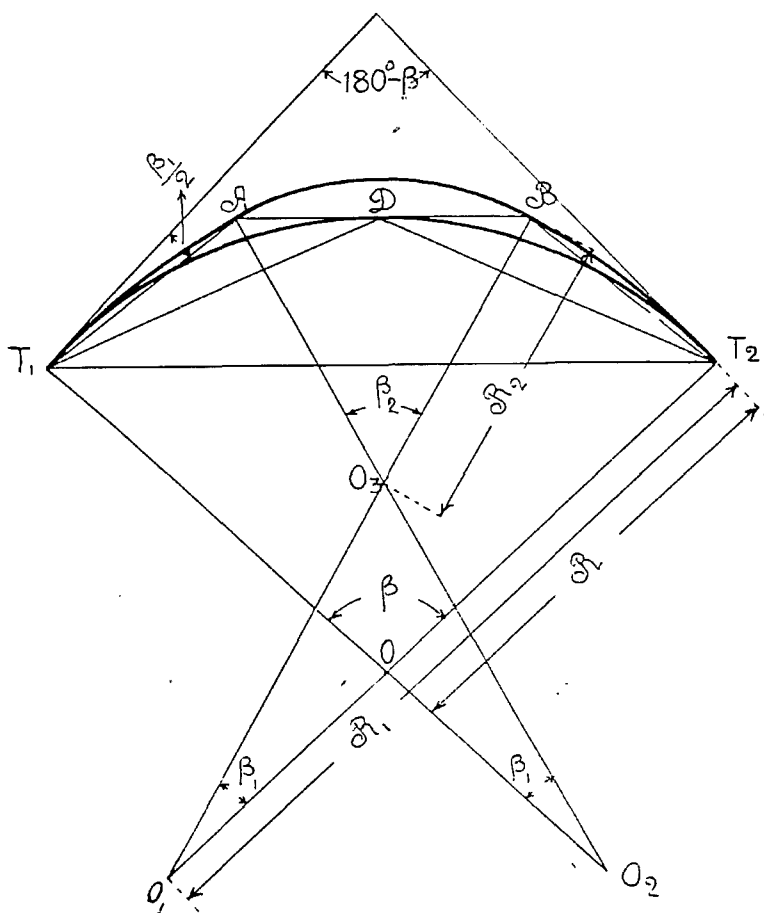
Приведенные вычисления не всегда надо производить в поле, так как возможно не фиксировать строго точек T_1 и T_2 , а просто отдельно разбивать кривые радиуса R_1 и R_2 .

Как видно из чертежа, радиус кривых R_1 получается меньше R , если линия AT_1 расположена ниже DT_1 или:

$$\frac{\beta_1}{2} < \frac{\beta}{4} .$$

Задаваясь (чер. 59) для тех же условий $R_1 = 1000$ м. и $R_2 = 400$ м., получим, что коробовая кривая пойдет выше кривой T_1DT_2 радиуса 600 м. и β_1 около 18° и имеем условие $R_1 > R > R_2$.

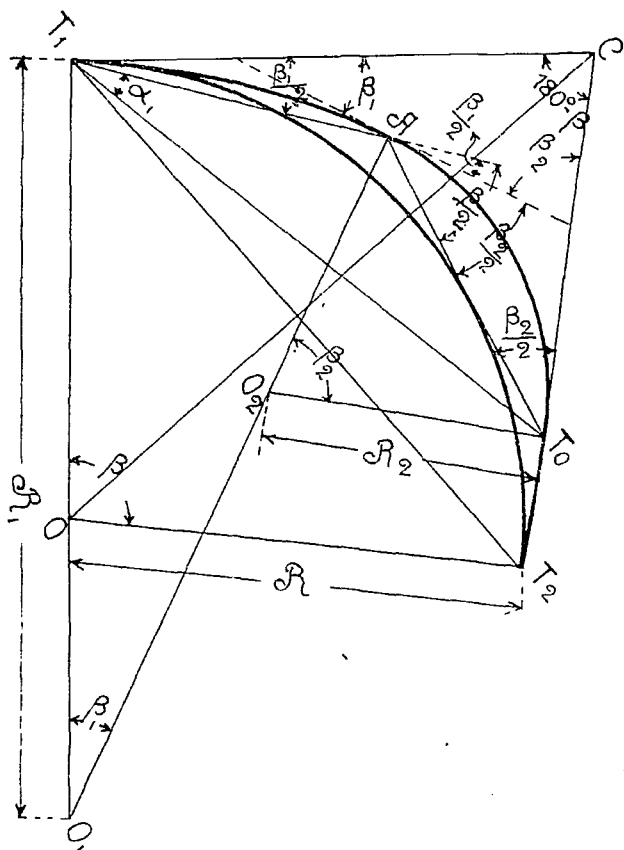
Если имеются две кривые разного радиуса, то они располагаются несимметрично и расстояние от вершины угла CT_1 и CT_2 не могут быть равны, как в случае симметричной коробовой кривой.



Чер. 59.

Из чер. 60 видно, что кривая радиуса R и угла β с точками касания T_1 и T_2 не может быть заменена двумя кривыми разных радиусов с примыканием в T_1 и T_2 ; если мы возьмем от T_1 кривую R_1 R , то R_2 будет $< R$ и точка касания T_0 приблизится к C ; если, наоборот, возьмем $R_1 < R$, то R_2 будет больше R и точка T_0 удалится далее T_2 от вершины угла C .

Задача о начертании коробовой кривой с двумя радиусами в общем виде может быть решена так: даны точки касания T_1 и T_0 и направления CT_1 и CT_0 ; далее из числа трех неизвестных R_1 , R_2 и β_1 две должны быть заданы, а одна определена.



Чер. 60.

Длина T_1T_0 при заданном угле β и длинах CT_1 и CT_0 определится из ΔCT_0T_1 ; далее будем иметь:

$$\frac{T_1A}{2} = R_1 \sin \frac{\beta_1}{2}; \quad \frac{T_0A}{2} = R_2 \sin \frac{\beta_2}{2}; \quad \dots \dots \dots (124)$$

Углы $\angle CT_1T_0$ и $\angle CT_0T_1$ определяются из ΔCT_0T_1 , после чего, вычитая из угла CT_1T_0 угол $\frac{\beta_1}{2}$, а из угла CT_0T_1

угол $\frac{\beta_2}{2}$, получим определенные углы α_1 и α_2 , входящие в ΔAT_0T_1 , в котором сторона T_1T_0 —известна.

Проектируя T_1A и T_0A на T_1T_0 , получим:

$$2R_1 \cos \alpha_1 \sin \frac{\beta_1}{2} + 2R_2 \cos \alpha_2 \sin \left(\frac{\beta - \beta_1}{2} \right) = T_1T_0 \quad \dots (125)$$

$$2R_1 \cos \alpha_1 \sin \frac{\beta_1}{2} + 2R_2 \cos \alpha_2 \sin \frac{\beta}{2} \cos \frac{\beta_1}{2} -$$

$$- 2R_2 \cos \alpha_2 \cos \frac{\beta}{2} \sin \frac{\beta_1}{2} = T_1T_0;$$

$$\sin \frac{\beta_1}{2} \left(2R_1 \cos \alpha_1 - 2R_2 \cos \alpha_2 \cos \frac{\beta}{2} \right) +$$

$$+ \cos \frac{\beta_1}{2} 2R_2 \cos \alpha_2 \sin \frac{\beta}{2} = T_1T_0;$$

или, называя член при $\sin \frac{\beta_1}{2}$ через A_1 при $\cos \frac{\beta_1}{2}$ — через B и T_1T_0 — через C , получим:

$$A \sin \frac{\beta_1}{2} + B \cos \frac{\beta_1}{2} = C$$

$$A \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} + B = C \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\beta_1}{2}} \quad \text{или} \quad A^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\beta_1}{2} + 2AB \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} +$$

$$+ B^2 = C^2 + C^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\beta_1}{2};$$

или:

$$\operatorname{tg}^2 \frac{\beta_1}{2} + \frac{2AB}{A^2 - C^2} \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} = \frac{C^2 - B^2}{A^2 - C^2} \quad \dots (126)$$

Откуда определится β_1 ; можно задаться, по ур. (126), углом β_1 и одним из радиусов и определить другой радиус.

Весьма интересное решение вопроса о коробовых кривых с двумя радиусами сделано Рам'ом¹⁾. Задаваясь длинами T_1C и CT_2 , к которым кривые должны касаться, требуется определить радиусы с таким расчетом, чтобы разница между ними была наименьшая.

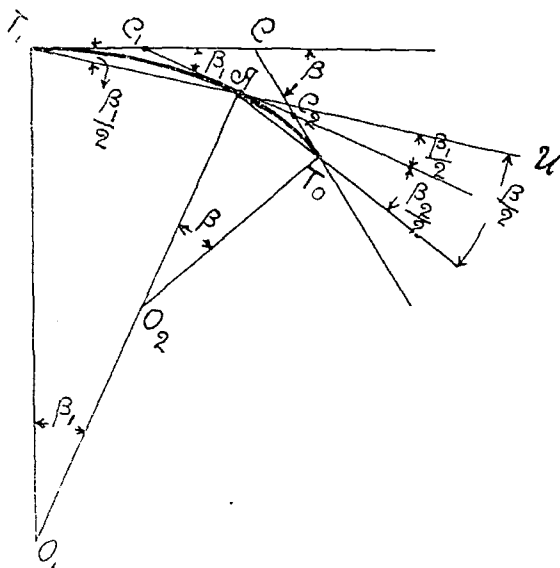
На чер. 61 показано расположение T_1 , T_0 и A ; на чер. 62 показано построение.

¹⁾ Org. f. d. F.— 1918 г. стр. 9.

Из чер. 61 имеем:

$$C_1T_1 = C_1A \text{ и } T_0C_2 = AC_2; \angle C_1AT_1 = \angle C_1T_1A = \frac{\beta_1}{2};$$

$$\angle C_2AT_0 = \frac{\beta_2}{2} \text{ и } \angle UAT_0 = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \frac{\beta}{2} \dots \dots \dots (127)$$



Чер. 61.

На чер. 62 длина CT_1 больше CT_0 и соответственно угол CT_0T_1 более угла CT_1T_0 ; обозначая разницу между углами в 2ϑ , будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \angle CT_0T_1 &= \frac{\beta}{2} + \vartheta \\ \angle CT_1T_0 &= \frac{\beta}{2} - \vartheta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (128)$$

и так как угол CT_1T_0 более нуля, то $\vartheta < \frac{\beta}{2}$.

Далее будем иметь, что $\angle AT_1C$ равен углу $\angle M_1O_1T_1$ и $\angle AT_0C$ — углу $\angle M_2O_2T_0$.

Из ΔT_1AT_0 ясно, что $\angle AT_1T_0 <$ угла AT_0T_1 , а сумма обоих углов равна $\frac{\beta}{2}$, поэтому, принимая разницу между углами в $2y$, будем иметь:

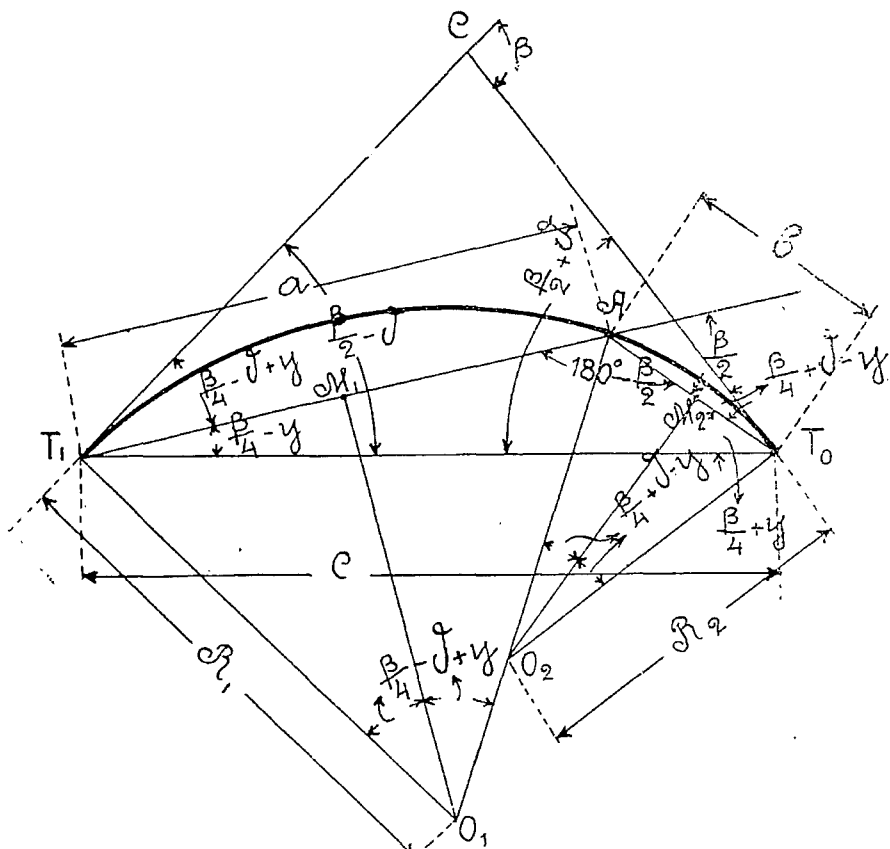
$$\angle AT_1T_0 = \frac{\beta}{4} - y \quad \text{и} \quad \angle AT_0T_1 = \frac{\beta}{4} + y \quad \dots \dots \dots (129)$$

Сопоставляя ур. (128) и (129), будем иметь:

$$\angle CT_1A = \frac{\beta}{4} - \vartheta + y \text{ и } \angle CT_0A = \frac{\beta}{4} + \vartheta - y \dots (130)$$

Из ΔT_1AT_0 будем иметь:

$$a = \frac{C \sin\left(\frac{\beta}{4} + y\right)}{\sin \frac{\beta}{2}} \text{ и } b = \frac{C \sin\left(\frac{\beta}{4} - y\right)}{\sin \frac{\beta}{2}} \dots (131)$$



Чер. 62.

Далее будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \angle CT_1A = \angle M_1O_1T_1 = \frac{\beta}{4} - \vartheta + y \\ \angle CT_0A = \angle M_2O_2T_0 = \frac{\beta}{4} + \vartheta - y \end{aligned} \right\} \dots (132)$$

Из $\Delta T_1 M_1 O_1$ и $\Delta T_0 M_2 O_2$ будем иметь (чер. 62):

$$R_1 = \frac{a}{2 \sin \left(\frac{\beta}{4} - \vartheta + y \right)} = \frac{C \sin \left(\frac{\beta}{4} + y \right)}{2 \sin \left(\frac{\beta}{4} - \vartheta + y \right) \sin \frac{\beta}{2}} \quad (133)$$

$$R_2 = \frac{b}{2 \sin \left(\frac{\beta}{4} + \vartheta - y \right)} = \frac{C \sin \left(\frac{\beta}{4} - y \right)}{2 \sin \left(\frac{\beta}{4} + \vartheta - y \right) \sin \frac{\beta}{2}}$$

Разница между радиусами:

$$R_1 - R_2 = \frac{C \left[\sin \left(\frac{\beta}{4} + y \right) \sin \left(\frac{\beta}{4} + \vartheta - y \right) - \sin \left(\frac{\beta}{4} - y \right) \sin \left(\frac{\beta}{4} - \vartheta + y \right) \right]}{2 \sin \left(\frac{\beta}{4} - \vartheta + y \right) \sin \left(\frac{\beta}{4} + \vartheta - y \right) \sin \frac{\beta}{2}}$$

$$= \frac{C \sin \vartheta}{\cos (2y - 2\vartheta) - \cos \frac{\beta}{2}} \quad (134)$$

Величина $R_1 - R_2$ будет наименьшей, когда знаменатель выражения (134) будет иметь наибольшее значение.

По чер. 62, имеем, что $\angle CT_1 A$ растет с приближением точки A к T_0 и предельное его значение $\frac{\beta}{2} - \vartheta$

или:
$$0 < \frac{\beta}{4} - \vartheta + y < \frac{\beta}{2} - \vartheta$$

или:
$$\vartheta - \frac{\beta}{4} < y < \frac{\beta}{4} \quad (135)$$

Вычитая из всех частей неравенства по ϑ и умножая на два, получим:

$$-\frac{\beta}{2} < 2y - 2\vartheta < \frac{\beta}{2} - 2\vartheta \quad (136)$$

т.-е.: $2y - 2\vartheta$ более $-\frac{\beta}{2}$ и менее $\frac{\beta}{2} - 2\vartheta$.

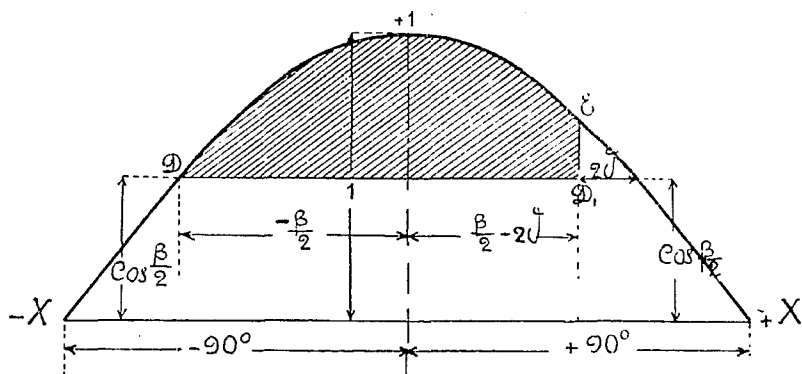
Рассматривая лишь предельный случай, для коего $\beta \leq 180^\circ$ и $\frac{\beta}{2} \leq 90^\circ$, получим для предельного случая:

$$-90^\circ < 2y - 2\vartheta < 90^\circ - 2\vartheta < 90^\circ \quad (137)$$

На чер. 63 нанесены значения *cosinus'a* для углов от -90° до $+90^\circ$; откладываем в левой части значение *cosinus'a* для угла $-\frac{\beta}{2}$ и в правой части—значение *cosinus'a* для угла $\frac{\beta}{2} - 2\vartheta$. Заштрихованная часть представляет значение величины:

$$\cos(2y - 2\vartheta) - \cos \frac{\beta}{2}$$

Наибольшее значение $\cos(2y - 2\vartheta)$ будет для $y = \vartheta$, и тогда $R_1 - R_2$ по ур. (134) будет наименьшим; это условие приводит к тому, что $\angle CT_1A = \angle CT_0A = \frac{\beta}{4}$ и далее—к условию равенства углов при O_1 и O_2 .



Чер. 63.

Вставляя $y = \vartheta$ в выражение для R_1 и R_2 , получим:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{C \sin \left(\frac{\beta}{4} + \vartheta \right)}{2 \sin \frac{\beta}{4} \sin \frac{\beta}{2}} \\ R_2 &= \frac{C \sin \left(\frac{\beta}{4} - \vartheta \right)}{2 \sin \frac{\beta}{4} \sin \frac{\beta}{2}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (138)$$

Из чер. 63 следует, что $\frac{\beta}{2} - 2\vartheta > 0$; если предположить, что $\frac{\beta}{2} - 2\vartheta < 0$, мы имели бы, при $y = \vartheta$:

$$2y - 2\vartheta = 0;$$

а из ур. (136):

$$2y - 2\vartheta < \frac{\beta}{2} - 2\vartheta \text{ или } y < \frac{\beta}{4}, \text{ а так как } \frac{\beta}{2} - 2\vartheta < 0, \text{ то и}$$

$$2y - 2\vartheta < 0, \text{ что невозможно при } y = \vartheta.$$

Таким образом, всегда должно быть:

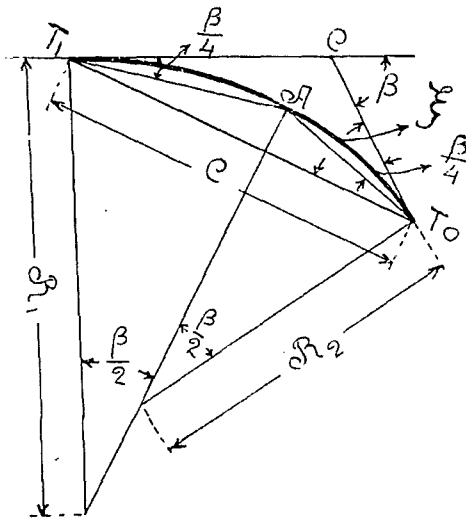
$$\frac{\beta}{2} - 2\vartheta > 0 \text{ или } \vartheta < \frac{\beta}{4} \dots \dots \dots (139)$$

и, следовательно, по черт. 62:

$$\angle CT_1T_0 > \frac{\beta}{4} \text{ и } \angle CT_0T_1 < \frac{3\beta}{4} \dots \dots \dots (140)$$

Предполагая, (чер. 64) угол $\xi = \angle CT_0T_1$, заданным и большим, чем $\angle CT_1T_0$, получим:

$$\xi = \frac{\beta}{2} + \vartheta, \text{ откуда } \vartheta = \xi - \frac{\beta}{2} \dots \dots \dots (141)$$



Чер. 64.

Из чер. 64 видно, что при заданном угле β и длинах CT_1 и CT_0 для получения радиусов R_1 и R_2 , наиболее близких друг другу, надо отложить линии T_1A и T_0A под углом $\frac{\beta}{4}$ к направлению касательных и точка пересечения этих линий— A даст точку примыкания кривых разных радиусов.

Пусть $T_1T_0 = 500$ м., $\beta = 40^\circ$, задаемся углом $CT_1T_0 = 18^\circ$, что более

$\frac{\beta}{4}$, и углом $CT_0T_1 = 22^\circ$, что менее $\frac{3\beta}{4}$, и $\vartheta = 2^\circ$, тогда по ур. (138) будем иметь:

$$R_1 = \frac{500 \sin 12^\circ}{2 \sin 10^\circ \sin 20^\circ} = \frac{500 \times 0,2079}{0,1187} = 875 \text{ м.}$$

$$R_2 = \frac{500 \sin 8^\circ}{2 \sin 10^\circ \sin 20^\circ} = \frac{500 \times 0,139}{0,1187} = 585 \text{ м.}$$

Если разница между повышениями двух смежных кривых не превосходит 20 мм., то переходную кривую можно не делать. Повышение, соответствующее меньшему радиусу, делается в точке примыкания, а затем уклоном в 0,001 оно сходит на величину возвышения, соответствующее большему радиусу. Иногда измерителем берется разница обратных величин радиусов, примыкающих кривых и ставится условие, что переходная кривая может не устраиваться, если:

$$\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} < \frac{1}{1500} \text{ или } \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} < \frac{1}{1500} \dots (142)$$

При $R_1 = 600$ м., R_2 может быть в пределах от 430 до 1000 м.

Принимая нормы в 1/1500, переходные кривые придется устраивать при сопряжении кривых, обозначенных крестиком, и кривых не надо устраивать при сопряжении кривых, обозначенных —.

Таблица XXV.

$R_1 = \backslash R_2 =$	1500	1200	1000	800	600	500	400	350	300	250	200
1500	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+
1200	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+
1000	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+
800	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+
600	+	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+
500	+	+	+	+	—	—	—	+	+	+	+
400	+	+	+	+	+	—	—	—	+	+	+
350	+	+	+	+	+	+	—	—	—	+	+
300	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	+
250	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
200	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

Из этой таблицы ясно, что случаи, когда разница обратных величин радиусов менее одной полуторатысячной, относительно редки, поэтому в большинстве случаев надо устраивать переходную кривую.

§ 20. Сопряжение двух соприкасающихся кривых переходной кривой.

Выше было указано, что величина возвышения кривой могла бы вычисляться по формуле, выражающей линейную зависимость от скорости и обратную зависимость от радиуса, а именно для возвышения h в мм. имеем:

$$h = \frac{500 v}{R} \dots \dots \dots (143)$$

Если принимать $l=1000 h$ в метрах при уклоне отвода в 0,001 или принимать для длины переходной кривой в метрах величину v постоянной, то учитывая, что параметр кубической параболы

$$C=lR = \frac{500 v}{R} R = 500 v \dots \dots \dots (144)$$

получим постоянный параметр для всех радиусов.

Таким образом, задаваясь скоростью $v=70$, получили бы $C=35000$; при $v=80$ км/час получили бы $C=40000$ и т. д.

Таблица возвышений в кривых рассчитана на разные скорости, уменьшающиеся с уменьшением радиуса; как видно из табл. XIX, параметры C изменяются в пределах от 25000 до 58500 или, иначе говоря, каждой круговой кривой соответствует своя кубическая парабола с своим параметром.

Положим, что для группы кривых с радиусами от R_1 до R_2 мы установили один параметр C , тогда в качестве переходной кривой будем пользоваться одной и той же кубической параболой, но будем пользоваться разными ее отрезками, а именно: при данном C чем меньше R , тем больше l .

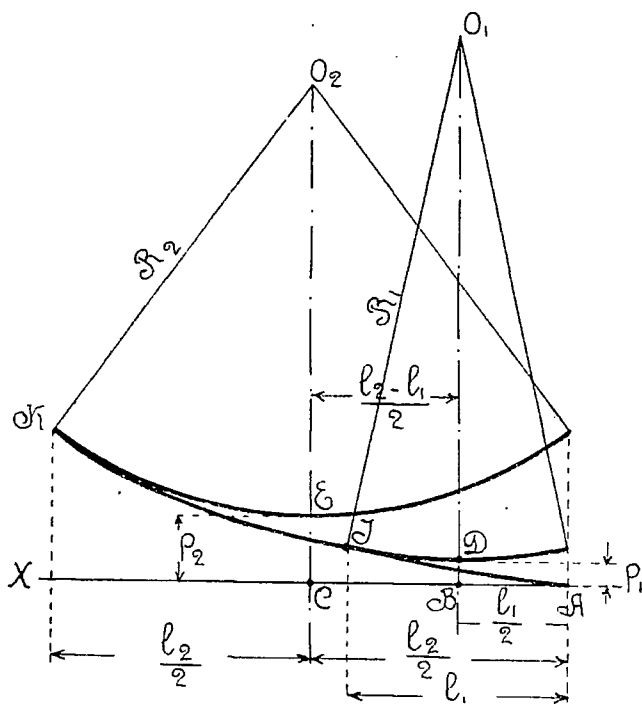
На чер. 65 показаны круговые кривые радиусов R_1 и R_2 с центрами O_1 и O_2 . Кривая радиуса R_1 , в точке D отстоит от оси абсцисс на p_1 и длина проекции переходной кривой равна l_1 ; в точке J переходная кривая, начавшаяся от A , примыкает к кривой радиуса R_1 .

Кривая радиуса R_2 , меньшего R_1 , в точке E отстоит от оси абсцисс на p_2 ; длина проекции переходной кривой равна l_2 . В

точке K переходная кривая, начавшаяся от A , соприкасается с кривой радиуса R_2 . Из чер. 65 видно:

$$AC = \frac{l_2}{2}; \quad AB = \frac{l_1}{2} \quad \text{и} \quad BC = \frac{l_2 - l_1}{2} \quad \dots \quad (145)$$

т.-е. центры кривых должны быть сдвинуты на разницу полу-
длин переходных кривых, или между кривыми должна быть фик-
тивная вставка, длиной $\frac{l_2 - l_1}{2}$ для возможности сопряжения кри-
вых переходной кривой.



Чер. 65.

На чер. 66 сделано построение переходной кривой: T_1F_1 и T_2F_2 представляют собой проекцию переходных кривых в их начале; точка G_1 — начало переходной кривой, точки G_1' и G_2' — концы переходной кривой l_1 и l_2 . Далее B_2C_2 и C_2D_2 — касательные кривой угла β_2 и B_1C_1 и C_1D_1 , тоже кривой угла β_1 ; длина

$$D_1D_2 = \frac{l_2 - l_1}{2}.$$

Таким образом, имея кривые радиуса R_1 и R_2 и углы β_1 и β_2 , делаем следующие построения: откладываем от B_2 влево $\frac{l_2}{2}$ и от B_1 вправо $\frac{l_1}{2}$; от точки D_1 откладываем вправо длину $\frac{l_1}{2}$ и получаем точку G_1 —начало переходной кривой. Сдвигаем кривые на p_1 и p_2 . Переходная кривая должна быть одного параметра C ; если же при примыкании к кривой радиуса R_1 параметр будет иметь одну величину, а при примыкании к радиусу R_2 параметр будет иметь другую величину, то самую переходную кривую придется построить для переменного параметра (см. ниже).

Из чер. 66 имеем (считая, что радиус R_1 и R_2 относятся к сдвинутым на p_1 и p_2 круговым кривым):

$$B_2C_2 = C_2D_2 = (R_2 + p_2) \operatorname{tg} \frac{\beta_2}{2} \dots \dots \dots (146)$$

$$D_1D_2 = \frac{l_2 - l_1}{2} \dots \dots \dots (147)$$

$$B_1C_1 = C_1D_1 = (R_1 + p_1) \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} \dots \dots \dots (148)$$

$$C_1C_2 = C_1D_1 + D_1D_2 + D_2C_2 = (R_1 + p_1) \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} + (R_2 + p_2) \operatorname{tg} \frac{\beta_2}{2} + \frac{l_2 - l_1}{2} \dots \dots \dots (149)$$

$$CC_2 = \frac{C_1C_2 \sin \beta_1}{\sin \beta} \text{ и } CC_1 = \frac{C_1C_2 \sin \beta_2}{\sin \beta} \dots \dots \dots (150)$$

$$CT_2 = \frac{l_2}{2} + (R_2 + p_2) \operatorname{tg} \frac{\beta_2}{2} + CC_2 \dots \dots \dots (151)$$

$$CT_1 = \frac{l_1}{2} + (R_1 + p_1) \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} + CC_1 \dots \dots \dots (152)$$

Пусть $R_1 = 800$ м. и $R_2 = 500$ м., $\beta_1 = 30^\circ$ и $\beta_2 = 40^\circ$; параметр $C = 50000$. Из таблицы XXV видим, что переходная кривая нужна. Определим следующие величины:

$C = lR = 50000$; для $R_1 = 800$, получим $l_1 = 62,5$ и для $R_2 = 500$ м., длина $l_2 = 100$ м. Далее:

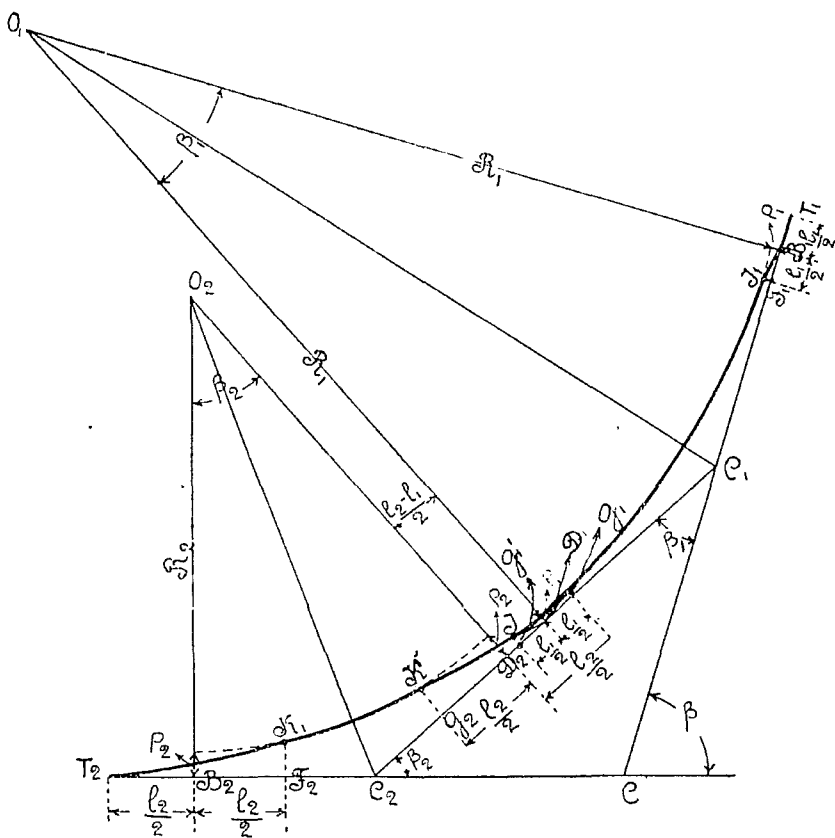
$$p_1 = \frac{l_1^2}{24R_1} = 0,203 \text{ и } p_2 = \frac{l_2^2}{24R_2} = 0,833.$$

$$\text{Длина } D_1 D_2 = \frac{100 - 62,5}{2} = 18,75.$$

Вычислим ординаты точек K и J переходной кривой:

$$y_j = \frac{l_1^3}{6 \times 50000} = \frac{241400}{300000} = 0,805 \text{ м.}$$

$$y_k = \frac{l_2^3}{6 \times 50000} = \frac{1000000}{300000} = 3,333 \text{ м.}$$



Чер. 66.

Ордината точки K может быть определена, как для точки окружности радиуса R_2 , тогда будем иметь:

$$KG_2 - p_2 + \frac{l_2^2}{8R_2} = 0,833 + \frac{10000}{8.500} = 0,833 + 2,5 = 3,333 \text{ м.}$$

Как видно из изложенного, разбивку переходных кривых произвести вполне возможно, если только имеется вставка $\frac{l_2-l_1}{2}$. На швейцарских дорогах, где применяются довольно крутые радиусы, для сопряжения которых необходимо применять переходные кривые, имеется требование наличия прямой вставки указанной длины $\frac{l_2-l_1}{2}$.

Из чертежа видно, что вся кривая от T_1 до T_2 состоит из следующих частей:

1) из длины переходной кривой $T_1J_1 - l_1 \left(1 + \frac{l_1^2}{40R_1^2} \right)$ и длины дуги радиуса R_1 , идущей от J_1 до J , при чем в правой части длина дуги уменьшена на $\frac{l_1}{2}$, а в левой удлинена на ту же величину, поэтому длина дуги $J_1J = \frac{\pi\beta_1 R_1}{180^\circ}$;

2) из длины переходной кривой KJ , равной $l_2 \left(1 + \frac{l_2^2}{40R_2^2} \right) - l_1 \left(1 + \frac{l_1^2}{40R_1^2} \right)$;

3) Из длины дуги KK_1 , при чем угол β_2 с каждой стороны уменьшен на величину α_2 , для коего $\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{l_2}{2(R_2 + p_2)}$; таким образом, длина дуги $KK_1 = \frac{\pi(\beta_2 - 2\alpha_2) R_2}{180^\circ}$;

4) из длины переходной кривой, равной $l_2 \left(1 + \frac{l_2^2}{40R_2^2} \right)$.

Суммируя все пять величин, получим:

$$\frac{\pi\beta_1 R_1}{180^\circ} + \frac{\pi(\beta_2 - 2\alpha_2) R_2}{180^\circ} + 2l_2 \left(1 + \frac{l_2^2}{40R_2^2} \right) \quad \dots (153)$$

В предшествующем примере предположен постоянный параметр, т.е. считалось, что обе круговые кривые сопрягаются с кубической параболой одного параметра.

Если придерживаться технических условий сооружения магистральных жел. дорог, то для того же примера получим:

$$C_1 = l_1 R_1 = 60 \times 800 = 48000; C_2 = l_2 R_2 = 80.500 = 40000.$$

Далее:

$$p_1 = \frac{l_1^2}{24R_1} = 0,188 \text{ и } p_2 = \frac{l_2^2}{24R_2} = 0,533 \text{ м.}$$

$l_2 - l_1 = 20$ м. и разница возвышений—20 мм.

Величина ординат для параметров C_1 и C_2 :

$$y_1 = \frac{l_1^3}{6C_1} = \frac{216000}{288000} = 0,75 \text{ м.},$$

$$y_2 = \frac{l_2^3}{6C_2} = \frac{512000}{240000} = 2,133 \text{ м.}$$

Для того, чтобы от кубической параболы с параметром C_1 перейти к кубической параболе с параметром C_2 , надо для промежуточных точек менять параметры (чер. 67), т.-е. получим для:

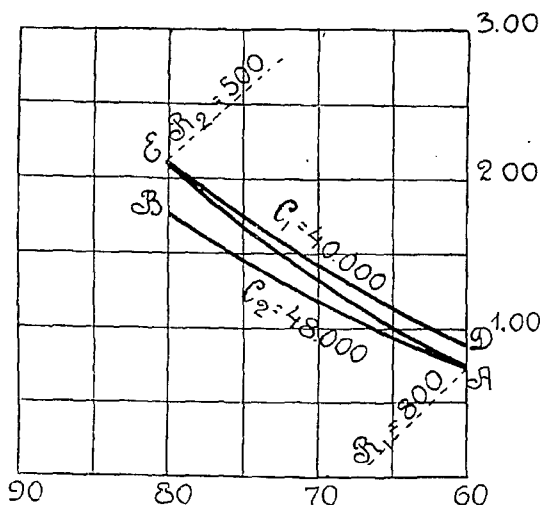
абсциссы	60 м.,	$C_1 = 48000$;	$y = 0,75$ м.
»	65 м.,	$C_3 = 46000$;	$y = 0,995$ м.
»	70 м.,	$C_4 = 44000$;	$y = 1,299$ м.
»	75 м.,	$C_5 = 42000$;	$y = 1,674$ м.
»	80 м.,	$C_2 = 40000$;	$y = 2,133$ м.

Построенная кривая не есть кубическая парабола, но кривая, сопрягающая кривые радиусов R_1 и R_2

Из изложенного ясно неудобства, имеющиеся при разнообразии параметров для сопряжения кривых, направленных в одну сторону.

В нижеследующей таблице XXVI показаны для

абсцисс, начиная от 60 до 80 метров, величины ординат для кубической параболы с параметром C_1 и с параметром C_2 и кривой, сопрягающей точки K и J (чер. 67).



Чер. 67.

Таблица XXVI.

Параметры.	Ординаты для абсцисс.				
	60	65	70	75	80
$C_1 = 48000$	0,75	0,954	1,191	1,465	1,778
$C_2 = 40000$	0,90	1,144	1,429	1,757	2,133
Перех. крив.	0,75	0,995	1,299	1,674	2,133

На чертеже ординаты увеличены в 10 раз по сравнению с абсциссами для ясности чертежа, при чем кривая AB представляет кубическую параболу с параметром $C_1 = 48000$, DE тоже, с параметром $C_1 = 40000$ и, наконец, AE представляет собой кривую, соединяющую кривые радиусов $R_1 = 800$ м. и $R_2 = 500$ м.

§ 21. Разбивка переходных кривых.

Разбивка переходных кривых при постоянном параметре не представляет затруднений, так как для кривых разных радиусов придется пользоваться разными отрезками той же кубической параболы. Задаваясь величинами x в 5,0, 10,0, 15,0 и т. д. метров, получим ординаты, а проекция длины кривой получится из ур. $C = Rl$, вставляя значения C и R .

Таким образом для $C = 40,000$, получим следующую таблицу XXVII значений длин переходных кривых для $C = 40,000$ и табл. XXVIII величин ординат.

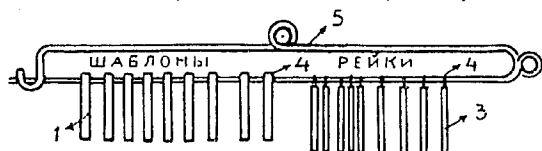
Таблица XXVII.

Величина.	$l = \frac{C}{R}$	№ № шаблонов.
1500	26,67	1—6
1200	33,33	1—7
1000	40,00	1—8
900	44,44	1—9
800	50,00	1—10
700	57,14	1—12
600	66,67	1—14

Таблица XXVIII.

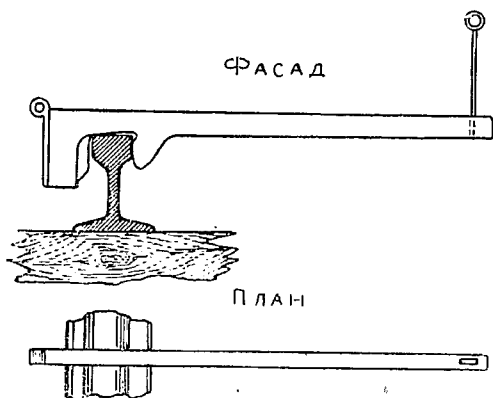
Абсцисса x .	$y = \frac{x^3}{6C_3} = \frac{x^3}{240000}$	№ № шаблонов.
5,0	0,000521	1
10,0	0,00417	2
15,0	0,01406	3
20,0	0,03333	4
25,0	0,0651	5
30,0	0,1125	6
35,0	0,17865	7
40,0	0,26667	8
45,0	0,3797	9
50,0	0,5208	10
55,0	0,69323	11
60,0	0,900	12
65,0	1,14427	13
70,0	1,42917	14

Из таблиц XXVII и XXVIII видно, что для разбивки переходной кривой для радиуса 1500 м., длиной 26,67 м., надо иметь 6 шаблонов, которые располагаются через каждые 5 м. Для разбивки переходной кривой для радиуса 600 м. надо иметь 14 шаблонов. Инженеры Н. В. Харламов и Н. И. Норс *) предложили на основе вышеизложенного особый прибор для проверки правильности разбивки переходных кривых. Прибор состоит из шаблонов (чер. 68) и реек, навешенных на сборную вилку. Шаблоны от конца до отверстия в шаблоне имеют длину, соответствующую ординатам переходных кривых; рейки все одинаковы.



Чер. 68.

Проверка разбивки делается так: на рельс в расстоянии 5 м. ставят шаблоны (чер. 69 и 70) и в конце их рейки; если переходная кривая разбита правильно, то все рейки должны быть на прямой (чер. 70), являющейся продолжением внутренней грани рельса, в противном случае должна быть сделана рехтовка таким образом, чтобы все рейки оказались на прямой.



Чер. 69.

Если параметры разные, то проверка разбивки по предложенному способу почти невозможна; в этом случае для определенных длин шаблонов надо для каждого радиуса и параметра определять абсциссы и иметь таблицы абсцисс для шаблонов. Конечно, в этом случае разбивка значительно затруднится, так

как придется определять: $x = \sqrt[3]{6Cy}$, где y будут длины шаблонов, а C — разные параметры.

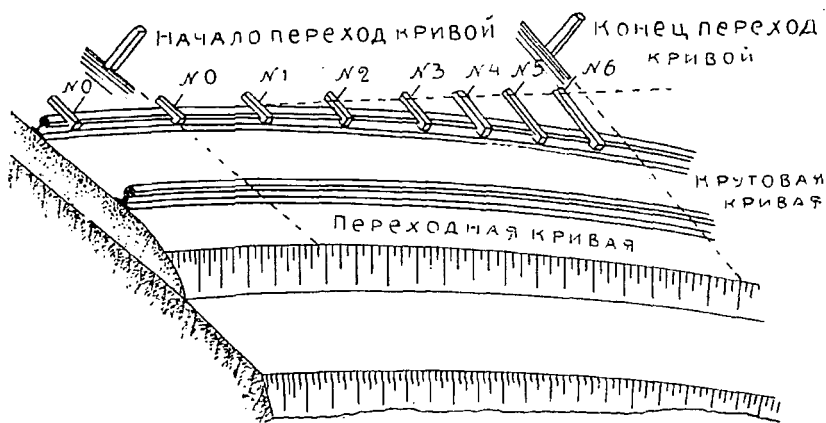
*) См. журнал «Железнодорожное Дело» за 1924 г. и изданные труды Б. П. Андреевича: «Изобретения и усовершенствования на транспорте». Вып. I. Путь. Изд. 1926 г.

Выше, в таблице XIX указано, что для радиуса 1100 м. параметр равен 55000; если мы захотим использовать шаблоны таблицы XXVIII, то абсциссы будут таковы (табл. XXIX).

$$R = 1100 \text{ м.}; C = 55000; l = 50 \text{ м.}$$

Таблица XXIX.

№ № шаблонов.	Ординаты.	$x = \sqrt[3]{6Cy} = \sqrt[3]{330000 y}$	При параметре $C = 40.000$ абсцисса $X =$
1	0,000521	5,56	5,00
2	0,00417	11,12	10,00
3	0,01406	16,68	15,00
4	0,03333	22,24	20,00
5	0,0651	27,80	25,00
6	0,1125	33,36	30,00
7	0,17865	38,92	35,00
8	0,26667	44,48	40,00
9	0,3797	50,04	45,00



Чер. 70.

Из таблицы XXVIII видно, что, применяя те же шаблоны для параметра $C = 55000$, что и для параметра $C = 40000$, надо

иметь таблицу абсцисс для каждого шаблона. Абсциссы для параметра 55000 увеличатся по сравнению с параметром 40000 в

$\sqrt[3]{\frac{55000}{40000}} = \sqrt[3]{1,375} = 1,112$ или вместо 5 надо брать 5,56 м., вместо 10 надо брать, $5,56 \cdot 2 = 11,12$ и т. д.

В данном случае корень кубический из отношений параметров более единицы и переходная кривая более полого; если корень кубический из отношения параметров менее единицы, то переходная кривая отдаляется от оси абсцисс по сравнению с параметром $C = 40000$.

При разных параметрах для каждого радиуса надо составлять таблицу, аналогичную таблице XXIX. В этом случае разбивка сильно затрудняется, так как возможны ошибки.

Из изложенного ясно, что надо бы в наших технических условиях иметь для определенных групп радиусов один параметр, т.-е. иметь всего 2 или 3 параметра, а не столько параметров, сколько радиусов.

VII. ДЛИНЫ РЕЛЬСОВ В КРИВЫХ.

§ 22. Укороченные рельсы.

Если у нас имеется длина кривой радиуса R по оси пути, то ось наружной нитки будет иметь радиус $R + \frac{s}{2} + \frac{v}{2}$, а внутренней $R - \frac{s}{2} - \frac{v}{2} - f$, где:

s —ширина колеи,

v —ширина головки рельса,

f —уширение в кривой; при чем уширение все отнесено на передвижку внутренней нитки.

Расстояние между осями рельсов $= s_1 = s + v + f$ будет равно для разных типов рельсов и разных радиусов, как это указано в таблице.

Т а б л и ц а XXX.

Типы рельсов.	v мм.	f для радиусов.					$s_1 = s + v + f$.				
		1100 и менее. 800 и до 1100.	500 и до 800.	400 и до 500.	Менее 400.	1100 и более.	800 и до 1100.	500 и до 800.	400 и до 500.	Менее 400.	
Ia	70	0	5	10	15	20	1594	1599	1604	1609	1614
IIa	68	0	5	10	15	20	1592	1597	1602	1607	1612
IIIa	60	0	5	10	15	20	1584	1589	1594	1599	1604
IVa	53,5	0	5	10	15	20	1577,5	1582,5	1587,5	1592,5	1597,5

Если считать наружную нитку уложенной из нормальных рельсов, то внутренняя будет короче на x , при чем (чер. 71)

$$x = \frac{s_1 l}{R + \frac{s}{2} + \frac{v}{2}} \dots \dots \dots (154).$$

Длина рельса на внутренней нитке = $l \frac{R - \frac{s}{2} - \frac{r}{2} - l}{R + \frac{s}{2} + \frac{r}{2}}$

Если под l подразумевать нормальную длину рельса, которую в метрических мерах можно принять в 12,5 м.; если, кроме того, пренебречь $\frac{s}{2}$ и $\frac{v}{2}$ по сравнению

с R и принять s_1 равным около 1,6 м., то

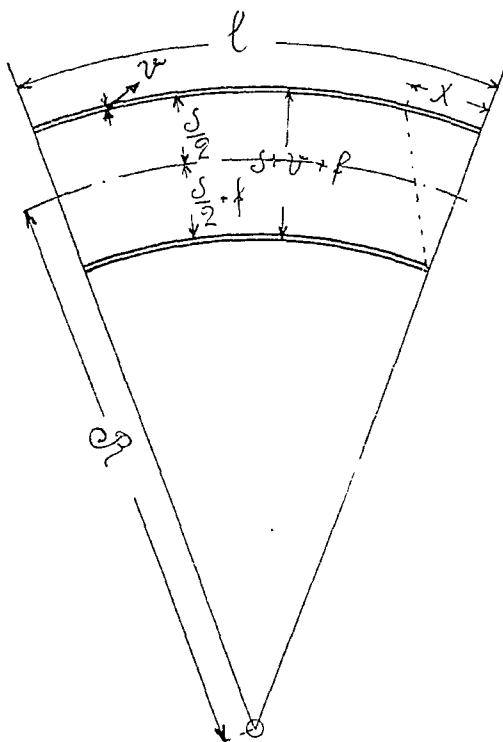
$$x = \frac{1,6 \times 12,5}{R} = \frac{20}{R},$$

или для мм:

$$\frac{20000}{R} \dots (155)$$

Но правильнее брать точные цифры по таблице 1 и в знаменателе:

$$R + \frac{s}{2} + \frac{v}{2}.$$



Чер. 71.

Если для каждого радиуса вычислить укорочения, соответствующие длине нормального рельса, то получим столько типов укороченных рельсов, сколько имеется радиусов, при чем каждому нормальному рельсу на внутренней нитке будет соответствовать укороченный рельс.

По форм. (155) имели бы:

- Для $R = 2000$ м. $x = 10$ мм.
- » » = 1000 м. » = 20 мм.
- » » = 500 м. » = 40 мм.
- » » = 250 м. » = 80 мм. и т. д.

Обычно имеется лишь несколько типов укороченных рельсов на величину κ , 2κ , 3κ и т. д.

Если наименьшее принятое укорочение будет κ , то

$$\frac{x}{\kappa} = \frac{s_1 l}{\kappa \left(R + \frac{s}{2} + \frac{r}{2} \right)} \dots \dots \dots (156)$$

будет представлять отношение действительного укорочения на каждое звено к имеющемуся укорочению. Если $x = \kappa$, то форм. (156) приведет к форм. (154), т.е. каждому нормальному рельсу будет соответствовать укороченный рельс. Если $\frac{x}{\kappa} < 1$, то число укороченных рельсов на внутренней колее будет меньше; положим, $\frac{x}{\kappa} = 0,5$, т.е. действительное на каждый рельс укорочение в два раза меньше, чем установленное укорочение κ . Стало быть, на внутренней колее один рельс будет нормальный, другой укороченный на κ . Если $\frac{x}{\kappa} = 1/3$, то на внутренней колее из трех рельсов будет два нормальных и один укороченный. Если $\frac{x}{\kappa} = 1/5$, то на внутренней колее из пяти рельсов будет один нормальный, четыре укороченных; отношение $\frac{x}{\kappa} > 1$ показывает, что надо переходить к укорочению большему, чем κ .

Положим $k = 0,04$, $0,08$ и $0,12$ м., тогда, применяя норм. рельсы в $12,5$ м. и форм. (155), получим для разных радиусов величины $\frac{x}{k}$, показанные в нижеследующей таблице XXXI.

Величины, R	К. 40 мм. *) $\frac{x}{k} = \frac{20000}{40R}$	$k=80^*)$	$k=120$	На 100 рельсов на наруж. нитке норм. длины надо уложить на внутр. нитке.			
				Норм.	Укор. на 40 мм.	Укор. на 80 мм.	Укор. на 120 мм.
2000	0,25	—	—	75	25	—	—
1500	0,33	—	—	67	33	—	—
1000	0,50	—	—	50	50	—	—
900	0,56	—	—	44	56	—	—
800	0,625	—	—	37	63	—	—
700	0,71	—	—	29	71	—	—
600	0,83	—	—	17	83	—	—
500	1,00	—	—	0	100	—	—
400	—	0,25	—	0	75	25	—
300	—	0,67	—	0	33	67	—
250	—	1,00	—	—	—	100	—
200	—	—	0,50	—	—	50	50

*) Для рельсов в 12,5 м. установлены укороченные на 40 и 80 мм., т.е. укороченные рельсы предусматривают радиус не менее 250 м.

Обозначим через:

Z_0 —число рельсов нормальной длины,

Z_1 — » » укороченных на k ,

Z_2 — » » » » $2k$,

Z_3 — » » » » $3k$,

Z_n — » » » » nk ,

m —число рельсов на наружной нитке (можно относить расчет к 100 звенам);

$\frac{1,6l}{kR}$ —доля укороченных рельсов;

тогда получим:

$$\left. \begin{aligned} Z_y &= m \left(y + 1 - \frac{1,6l}{kR} \right) \\ Z_{y+1} &= m \left(\frac{1,6l}{kR} - y \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (157)$$

Для $y=0$ получим:

$$Z_0 = m \left(1 - \frac{1,6l}{kR} \right) \text{ и } Z_1 = m \frac{1,6l}{kR} \dots \dots \dots (158)$$

т.е. Z_0 дает долю от m нормальных рельсов, а Z_1 —долю от m укороченных на k рельсов.

Когда $\frac{1,6l}{kR}$ будет равно единице, то $Z_0=0$, т.е. нормальных рельсов на внутренней нитке не будет; для $\frac{20000}{40R}$ этому соответствует $R=500$ м. (см. табл. XXXI).

Когда Z_0 обращается в нуль, то надо подставить в ур. (157) $y=1$ и тогда получим:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= m \left(2 - \frac{1,6l}{kR} \right) \\ Z_2 &= m \left(\frac{1,6l}{kR} - 1 \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (159)$$

и будем получать, сколько надо уложить Z_1 , укороченных на k рельсов, и сколько Z_2 , укороченных на $2k$ рельсов; так как $\frac{1,6l}{kR}$ более единицы, то ур. (159) будет давать всего 100% рельсов.

Когда с уменьшением R величина $\frac{1,6l}{kR}$ обратится в два, то $Z_1=0$, т.е. рельсов, укороченных на k , не будет.

По ур. $\frac{20000}{kR}$, при $k=80$ и $R=250$, получим $\frac{1,6l}{kR} = 2$, что видно в табл. XXXI.

В дальнейшем надо поставить $y=2$, и тогда из ур. (157) будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} Z_2 &= m \left(3 - \frac{1,6l}{kR} \right) \\ Z_3 &= m \left(\frac{1,6l}{kR} - 2 \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (160)$$

Так как $\frac{1,6l}{kR}$ более двух, то Z_2 и Z_3 дадут 100% рельсов, укороченных на $2k$ и на $3k$.

В настоящее время заказывают нормальные рельсы в 12,5 м. Как видно из ур. (154) и таблицы XXX, длина рельса на внутренней колее зависит от типа рельсов. Кроме того, отнесение числа нормальных и укороченных рельсов к 100 рельсам не всегда удобно; гораздо удобнее давать общее число рельсов, из коих столько-то нормальных и столько-то укороченных.

В таблице XXXI, пользуясь данными третьей горизонтальной графы таблицы XXX, и исчислены для радиусов от 2000 м. до 250 м., длина внутреннего рельса для нормального в 12,5 м. и его укорочение— x .

R в м.	$s_1 =$ $=s + v + f$ в м.	$R + \frac{s}{2} + \frac{v}{2}$	$\frac{s_1}{\frac{s_2}{2} + \frac{v}{2}}$	X $R + \frac{s}{2} + \frac{v}{2}$ в мм.	Теорет. длина укороч. рельса в мм.	На внутренней нитке.				Последовательность расположения рельсов.
	Норм. рельсы.	k_1 Укорельсы на 40 мм.	k_2 Укорельсы на 80 мм.	Всего.						
2000	1.584	2.000.792	0,000.791	9,9	12.490,1	3	1	—	4	nn k_1n
1500	1.584	1.500.792	0,001.055	13,2	12.486,8	2	1	—	3	nk_1n
1300	1.584	1.300.792	0,001.218	15,2	12.484,8	13	8	—	21	$nk_1nk_1nk_1nk_1nk_1nk_1nk_1nk_1$ $k_1nk_1nk_1n$
1200	1.584	1.200.792	0,001.319	16,5	12.483,5	13	9	—	22	$nk_1nk_1nk_1nk_1k_1nk_1$ $nk_1nk_1nk_1nn$
1100	1.584	1.100.792	0,001.439	18,0	12.482,0	11	9	—	20	$nk_1nk_1nk_1nk_1nk_1nk_1nk_1$ $nk_1nk_1nk_1n$
1000	1.589	1.000.792	0,001.588	19,8	12.480,2	1	1	—	2	nk_1
900	1.589	900.792	0,001.763	22,0	12.478,0	9	11	—	20	$k_1nk_1nk_1nk_1nk_1k_1nk_1nk_1$ $nk_1nk_1nk_1$
800	1.589	800.792	0,001.984	24,8	12.475,2	8	13	—	21	$k_1nk_1nk_1k_1nk_1k_1nk_1nk_1$ $k_1nk_1k_1nk_1nk_1$
700	1.594	700.792	0,002.275	28,4	12.471,6	3	7	—	10	$k_1nk_1k_1k_1nk_1k_1nk_1$
600	1.594	600.792	0,002.653	33,2	12.466,8	4	19	—	23	$k_1k_1nk_1k_1k_1k_1k_1nk_1k_1k_1$ $k_1k_1nk_1k_1k_1k_1k_1nk_1k_1$
500	1.594	500.792	0,003.183	39,8	12.460,2	0	1	—	1	k_1
400	1.599	400.792	0,003.990	49,8	12.450,1	0	3	1	4	$k_1k_1k_2k_1$
300	1.604	300.792	0,005.333	66,67	12.433,3	0	1	2	3	$k_2k_1k_2$
250	1.609	250.792	0,006.396	80,00	12.420,0	0	—	1	1	k_2

Далее определено число нормальных и укороченных рельсов на внутренней нитке.

При разнице в длине наружных и внутренних рельсов в 40 мм., наибольшее несовпадение стыков по наугольнику будет не более 20 мм. Последовательность укладки нормальных, укороченных на k_1 (40 мм.) и k_2 (80 мм.) рельсов должна быть такова, чтобы недоход или забегание внутреннего рельса было не более 20 мм.

В последней вертикальной графе показана последовательность расположения рельс.

Для примера последовательность расположения рельсов для $R=600$ м. нормальной длины и рельсов, укороченных на 40 мм., определена в нижеследующей таблице XXXIII.

Первая строка представляет собой теоретическое укорочение последовательно по 33,2 мм. на рельс.

Вторая строка—действительное сокращение при применении укороченных рельсов на 40 мм. короче; таким образом, цифры второй строки должны быть кратны от сорока и отличаться от цифр первой графы не более, чем на $40 : 2 = 20$ мм.

Если во второй графе цифра увеличивается на 40 мм., то это означает, что укладывается укороченный рельс (k_1); если же для того, чтобы разница была не более 20 мм., надо сохранить цифру, кратную от 40 мм., то стало быть на внутренней нитке укладывается нормальный рельс.

Первый (40 мм.) и второй рельс (80 мм.)—укороченные; так как для третьего рельса разница менее 20 мм. достигается при 80 мм., то третий рельс будет на внутренней колее нормальной длины.

Последовательность чередования укороченных и нормальных рельсов (последняя вертикальная графа табл. XXXII) приведена, исходя из предположения, что первый стык на кривой совпадает с началом кривой. В действительности первый стык может отставать на длину до полурельса или быть впереди на полурельс против начала кривой; за первый рельс считается тот рельс по последней графе т. XXXII, который начальным (расположенным в сторону начала кривой) концом своим не дошел или перешел начало кривой. Однако, в виду случайного расположения стыков рельсов, правильнее определять чередование укороченных и нормальных рельсов для каждого частного случая аналитическим или графическим путем.

Т а б л и ц а XXXIII.

Наименование.	Номера рельсов от начала кривой.																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Сумма послед. укорочений . . .	33,2	66,4	99,6	132,8	166	199,2	232,4	265,6	298,8	332	365,2	398,9	431,6	464,8	498	531,2	564,4	597,6
Сумма укорочений, достигаемых рельсами на 40 мм. короче	40	80	80	120	160	200	240	280	280	320	360	400	440	480	480	520	560	600
Наименование рельсов	k_1	k_1	n	k_1	k_1	k_1	k_1	k_1	n	k_1	k_1	k_1	k_1	k_1	n	k_1	k_1	k_1

	Номера рельсов от начала кривой.				
	19	20	21	22	23
Сумма послед. укорочений.	630,8	664	693,2	730,4	763,4
Сумма укорочений, достигаемых рельсами на 40 мм. короче	640	680	680	720	760
Наименование рельсов.	k_1	k_1	n	k_1	k_1

Четвертая графа таблицы XXXII показывает сокращение против нормальной длины для разных радиусов; если возьмем для горизонтального масштаба в см. десять метров, а для вертикального в 1 см. десятая метра, то получим (чер. 72), с искажением в 1000 раз, укорочение, соответствующее длине для разных радиусов. На чер. 73 взят радиус в 600 м.; если мы будем предполагать первый стык совпадающим с началом кривой, то будем получать чередование нормальных и укороченных рельсов, согласно табл. XXXIII, и обозначенных на чер. 73 через k_1 и n . Предположим, что первый стык расположен на расстоянии 5 м. от начала кривой в сторону кривой, тогда (чер. 73) чередование кривых будет идти, как показано на второй прямой, линия абсцисс которой приподнята относительно линии абсцисс первой прямой на 7 см.

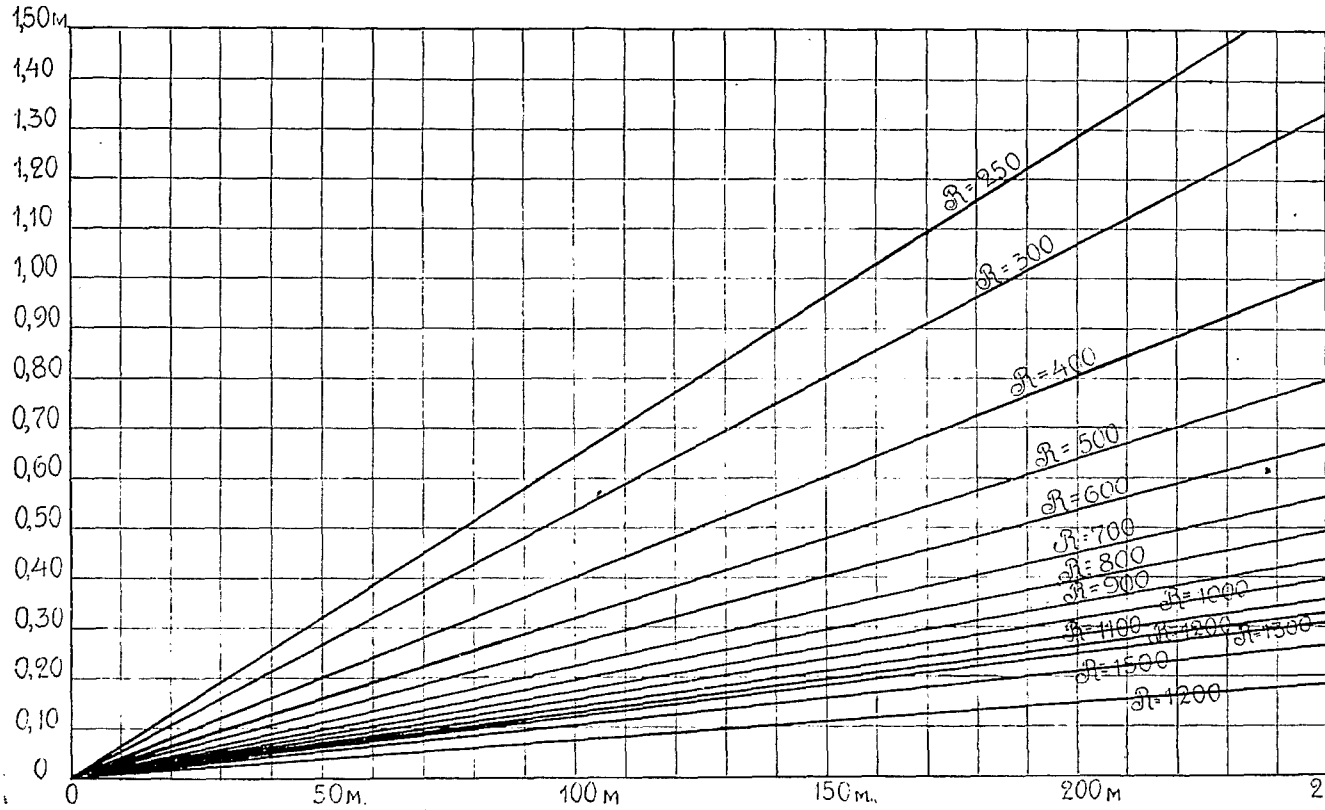
Как видно из верхней части чертежа, чередование нормальных и укороченных рельсов получается совсем иное, чем внизу чертежа.

Если стык расположен на 5 м. от начала кривой, то по таблице XXXII имеем для $R = 600$ м. на внутренней нитке в $0,002653 \times 5 \times 1000 = 13,3$ мм.

Составляя таблицу XXXIII-а, аналогичную таблице XXXIII для стыков, получим чередование на 23 рельса из 19 укороченных рельсов, но совершенно иначе расположенных; в начале и в конце кривой будем иметь нормальные рельсы, при чем первый рельс будет находиться в пределах кривой на протяжении 5 м., а последний—в пределах $12,5 - 5 = 7,5$ м., если кривая состоит из 23 рельсов.

Из изложенного ясно, что установление наперед чередования рельсов, как это сделано в таблице XXXII, в предположении совпадения стыка с началом кривой, неправильно. Приведена последняя вертикальная графа т. XXXII лишь для того, чтобы показать, что ею пользоваться можно лишь очень редко, несмотря на то, что данные, подобные последней графе т. XXXII приводятся в ряде инструкций. Очевидно, что таблицу, аналогичную XXXIII-а, можно составить для любого числа рельсов, более и менее 23 рельсов.

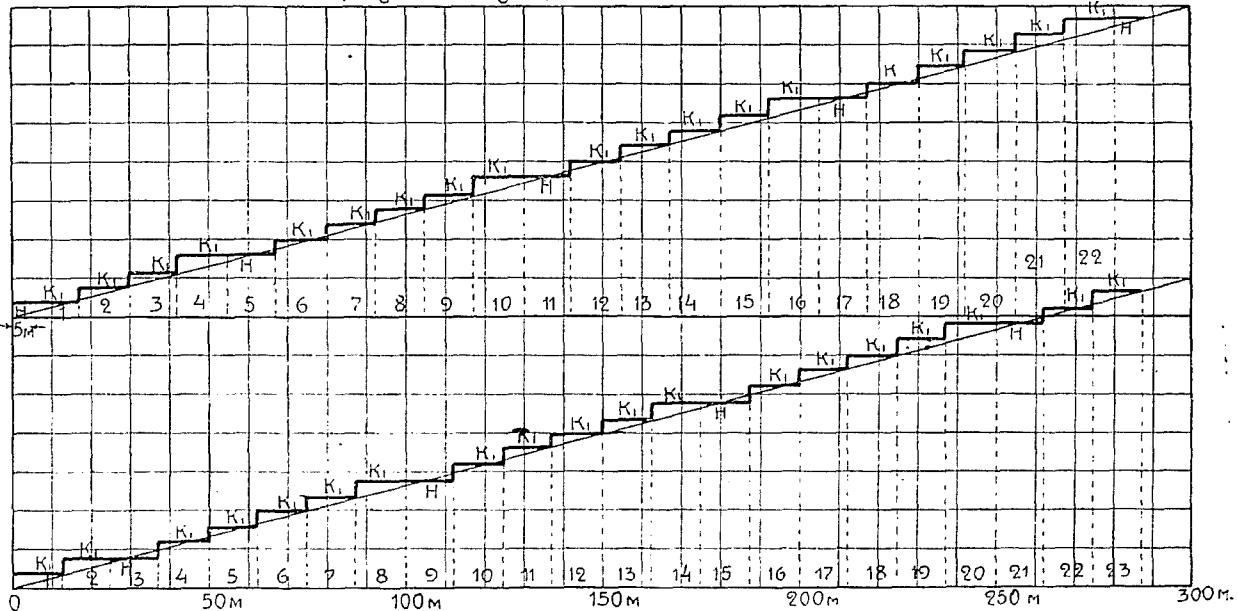
Укоро-
чение



Графическое определение укороченных рельс для $R=600\text{м}$

Укорочен 1,5м

(0,7) 1,4 ..
 (0,6) 1,3 ..
 (0,5) 1,2 ..
 (0,4) 1,1 ..
 (0,3) 1,0 ..
 (0,2) 0,9 ..
 (0,1) 0,8 ..
 (0) 0,7 ..



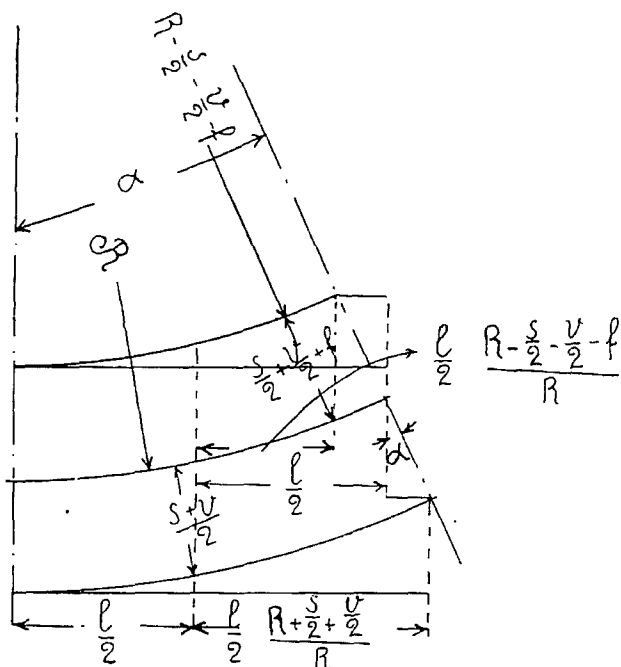
Чер. 73.

Таблица XXXIII-а.

Наименование.	Номера рельсов от начала кривой.													
	5 м.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сумма последовательн. укорочений	13,3	46,5	79,7	112,9	146,1	179,3	212,5	245,7	278,9	312,1	345,3	378,5	411,7	449,9
Сумма укорочений, достигаемых укороченн. рельсами	0	40	80	120	160	160	200	240	280	320	360	360	400	440
Наименование рельсов.	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁

Номера рельсов от начала кривой.									
14	15	16	17	18	19	20	21	22	7,5 м.
478,1	511,3	544,5	577,7	610,9	644,1	677,3	710,5	743,7	763
480	520	560	560	600	640	680	720	760	760
<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>n</i>

Зная угол, определяют длину кривой по наружной нитке; деля на $12,5 + \text{зазор}$ (см. ниже), получается число рельсов. Затем, пользуясь таблицей, аналогичной XXXIII-а, укладывают рельсы в определенной последовательности; если число рельсов более указанного в таблице XXXII, то повторяют последовательность укладки. Так, например, если число рельсов для $R = 600$ м. равно 37 на наружной нитке, то после укладки 23 рельсов остальные 14 укладывают в последовательности, составленной аналогично таблицы XXXIII-а.



Чер. 74.

Все приведенные вычисления правильны без учета переходных кривых. Что касается переходных кривых, то в отношении их надо иметь в виду следующее:

Длина переходной кривой по оси $= l$; длина же внутренней нитки будет равна (черт. 74):

$$\frac{l}{2} + \frac{l}{2} \frac{R - \frac{s}{2} - \frac{v}{2} - f}{R} = \frac{l}{2} \left(\frac{2R - \frac{s}{2} - \frac{v}{2} - f}{R} \right) \dots (161)$$

Длина переходной кривой для наружной нитки будет равна:

$$\frac{l}{2} \left(1 + \frac{R + \frac{s}{2} + \frac{r}{2}}{R} \right) = \frac{l}{2} \left(\frac{2R + \frac{s}{2} + \frac{r}{2}}{R} \right) \dots (162)$$

Разница в длине внешней и внутренней переходной кривой будет:

$$\frac{l}{2} \left(\frac{s + r + l}{R} \right) = \frac{ls_1}{2R} \dots (163)$$

Уточняя длину l (проекцию переходной кривой) действительной длиной кривой, получим:

$$\frac{l \left(1 + \frac{l^2}{40 R^2} \right) s_1}{2R} \dots (164)$$

Сравнивая ур. (164) и (154), мы видим, что разница в длинах переходных кривых по наружной и внутренней нитке в два раза меньше, чем для круговой кривой радиуса R , что вполне понятно, если учесть, что в переходных кривых радиус изменяется от конечной величины R до ∞ .

Изменение длины с обеих сторон для переходных кривых будет:

$$\frac{l \left(1 + \frac{l^2}{40 R^2} \right) s_1}{R} \dots (165)$$

В нижеследующей таблице XXXIV приведено для рельса III-а укорочение длины переходной кривой по внутренней нитке.

В начале переходной кривой разница в длине меньше, а затем разница эта растет. Имея в виду длину рельсов в 12,5 м. и учитывая, что:

$$\rho = \frac{C}{x} \dots (166)$$

мы можем последовательно для $x = 12,5, 25, 37,5$ и т. д. метров определить радиусы в конце звен в 12,5, т.е. R_1, R_2, R_3 , и т. д.

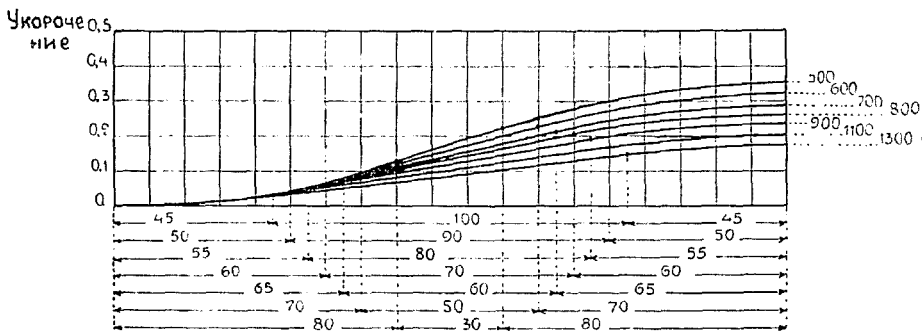
Вставляя значения $l = 12,5, 25$ и т. д. в ур. (164) и определенные для ρ из (166) и пренебрегая, за малостью, величиной

$(1 + \frac{l^2}{40R^2})$, получим разницы в длинах наружной и внутренней переходной кривой через каждые 12,5 м., показанные в последних горизонтальных графах таблицы XXXIV.

Так же определены величины разниц для других значений R ($= 900, 800$ и т. д.).

Применяя переходные кривые, получим, что в начале и конце кривой будут укорочения, изменяющие, по данным таблицы XXXIV, для 12,5, 25 м. и т. д. и в конце переходной кривой на 0,027 м. для $R = 1300$ м., 0,036 м. для $R = 1100$ м. и т. д.

В пределах круговой кривой изменения будут происходить по прямым по чер. 72, предполагая, что сумма длин кривых и переходных кривых равна 190 м., получим данные по чер. 75 для разных радиусов.



Чер. 75.

С уменьшением радиуса кривых разницы растут; правые части представляют собой изменения от переходной кривой, при чем кривые повернуты на 180° относительно левых прямых.

Для $R = 500$ м. построение сделано так:

Согласно таблицы XXXIV:

Для абсциссы	12,5 м.	ордината	$= 0,003$
»	»	25,0 м.	» $= 0,012$
»	»	37,5 м.	» $= 0,028$
»	»	50,0 м.	» $= 0,050$
»	»	62,5 м.	» $= 0,078$
»	»	75,0 м.	» $= 0,112$

Т а б л и ц а XXXIV.

Наименование.	1300	1100	900	800	700	600	500
l длина перех. кривой.	45	50	55	60	65	70	80
$1 + \frac{l^2}{40R^2}$	1,00003	1,000052	1,000093	1,000141	1,000210	1,000340	1,000640
$l \left(1 + \frac{l^2}{40R^2}\right)$	45,001	50,003	55,005	60,008	65,019	70,024	80,051
Параметр С	58500	55000	49500	48000	45500	42000	40000
Угол α , отнимаемый с кажд. стороны для устройства перех. кривой	59°30"	1°18'6"	1°45'1"	2°8'52"	2°39'24"	3°20'19"	4°34'26"
Разница на длину одной перех. крив. по ур. (164)	0,027	0,036	0,048	0,060	0,074	0,093	0,128
То же—для 2 перех. кр. Величина	0,055	0,072	0,097	0,119	0,148	0,186	0,255
$\rho = \frac{C}{12,5}$	4680	4400	3960	3840	3640	3360	3200
» $= \frac{C}{25}$	2340	2200	1980	1920	1820	1680	1600
» $= \frac{C}{37,5}$	1560	1467	1320	1280	1213	1120	1067
» $= \frac{C}{50}$	—	1100	990	960	910	840	800
» $= \frac{C}{62,5}$	—	—	—	—	728	672	640
» $= \frac{C}{75,0}$	—	—	—	—	—	—	533
Разн. в длине для 12,5	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
» » » » 25 м	0,009	0,009	0,010	0,010	0,011	0,012	0,012
» » » » 37,5	0,019	0,020	0,023	0,023	0,025	0,027	0,028
» » » » 50	—	0,036	0,040	0,041	0,044	0,047	0,050
» » » » 62,5	—	—	—	—	0,069	0,074	0,078
» » » » 75,0	—	—	—	—	—	—	0,112
Остаток рази. между ур. (164) и послед. звеном	0,008	0,000	0,008	0,019	0,005	0,019	0,016
На круговой кривой разица на рельс	0,0152	0,0180	0,0220	0,0248	0,0284	0,0332	0,0398

Примечание к таблице XXXIV:

Величины разниц в 12,5, 25 и т. д. для $R = 1100$ м. определены так:Для 12,5 м. имеем из ур. (164): $\frac{l s_1}{2R} = (12,5 \times 1,584) : (2 \times 4400) = 0,002$ м.» 25,0 м. » » » » $= (25,0 \times 1,584) : (2 \times 2200) = 0,009$ м.» 37,5 м. » » » » $= (37,5 \times 1,584) : (2 \times 1467) = 0,020$ м.» 50,0 м. » » » » $= (50,0 \times 1,584) : (2 \times 1100) = 0,036$ м.

Для конца переходной кривой — 0,128.

Для кривой длиной 30 м. (чер. 75), согласно таблице XXXII, ордината равна $0,003183 \times 30 = 0,095$, и прибавляя 0,128, получим: $0,095 + 0,128 = 0,223$.

В конце переходной кривой ордината $= 0,128 + 0,223 = 0,351$.

От конца переходной кривой с ординатой 0,351 строим точки влево по чертежу.

Пример. Пусть имеется кривая радиуса 600 м. с центральным углом $26^\circ 40' 38''$; надо определить чередование укороченных рельс, считая уклон отвода переходных кривых в 0,001 (черт. 76).

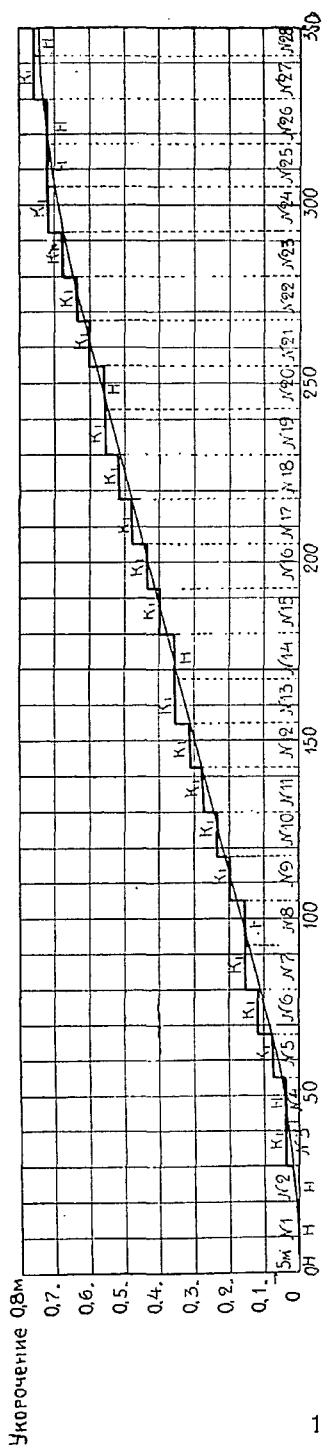
Согласно табл. XXXIV, на переходные кривые надо свавить $2\alpha = 2 \times 3^\circ 20' 19'' = 6^\circ 40' 38''$ и длина каждой переходной кривой $= 70,024$ м., а для расчета укороченных рельсов можно принять 70 м.

Длина кривой по наружной

$$\text{нитке} = \frac{\pi \left(R + \frac{s}{2} + \frac{v}{2} \right) 20}{180} = 209,675 \text{ м.}$$

Делаем вычисления аналитически и графически; пусть стык отстоит на 5 м. от начала переходной кривой. Составляем таблицу XXXV.

Конец круговой кривой на $70,024 + 209,675 = 279,696$ м.



Рельс № 22 заходит на $280 - 279.699 = 0,301$ м. в переходную кривую. Ордината для абсциссы 279.699 м. будет равной $93 + 209.675 \times 0,002653 = 93 + 556 = 649$ мм., а на 280 м. будет 650 мм.

Конец кривой на $279.699 + 70.024 = 349.723$ мм. и ордината $= 649 + 93 = 742$ мм.

От укорочения в 742 мм. вычисляем укорочение по переходной кривой справа налево, интерполируя между ординатами в 12,5 м.

Из черт. 76 и таблицы XXXV видно, что рельс прямой входит на 5 м.; затем уложено 27 рельсов и 28-й рельс опять выходит на прямую. Из 29 рельсов—10 нормальных и 19 укороченных.

Как видно, благодаря переходным кривым, число укороченных рельсов уменьшается: в таблице XXXII, при отсутствии переходных кривых, 19 укороченных рельсов приходятся на 23 рельса, а в данном примере, благодаря переходным кривым, 19 укороченных рельсов приходятся на 29 рельсов (см. табл. на стр. 161).

В данном примере теоретическое укорочение (табл. XXXV) в 742 мм. меньше достигнутого укороченными рельсами в 760 мм. на 18 мм.

Неувязка между теоретическим и действительным укорочением, как выше было сказано, не превышает $\frac{40}{2} = 20$ мм. и должна быть разогнана на ближайших стыках прямой, при чем, как дальше разъяснено, не более, чем на 6 звен.

§ 23. Величины зазоров.

Колебание температуры по Цельсию берем от $+ 60^\circ$ до $- 40^\circ$; таким образом, средняя величина зазоров будет при $+ 10^\circ$.

Предполагая, что невязку при укладке укороченных рельсов можно разогнать на 6 звен, получим $\frac{20}{6} = 3,5$ мм. Далее, учитывая допуск в длине рельса в 1 мм., получим, при коэффициенте линейного расширения в 0,0000118 или для миллиметров 0,0118, данные, показанные в нижеследующей таблице XXXVI.

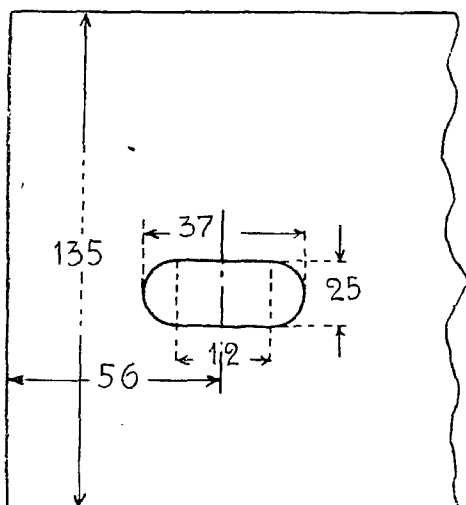
Наименование.	Номера рельсов и длины, считая по внешней кривой.																	
	5 м.	№ 1 17,5	№ 2 30	№ 3 42,5	№ 4 55,0	№ 5 67,5	№ 6 80	№ 7 92,5	№ 8 105	№ 9 117,5	№ 10 130	№ 11 142,5	№ 12 155	№ 13 167,5	№ 14 180	№ 15 192,5	№ 16 205	№ 17 217,5
Сумма последоват. укорочений	1	6	18	33	54	86	113	146,2	179,4	212,6	245,8	279,0	312,2	345,4	378,6	411,8	445,0	478,2
Сумма укорочен- ний, достигаемых рельсами на 40 мм. короче	0	0	0	40	40	80	120	160	160	200	240	280	320	360	360	400	440	480
Наименов. рельсов.	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁

Номера рельсов и длины, считая по внешней кривой.										
№ 18 230	№ 19 242,5	№ 20 255	№ 21 267,5	№ 22 280	№ 23 292,5	№ 24 305	№ 25 317,5	№ 26 330	№ 27 342,5	№ 28 349,7
511,4	544,6	577,8	611,2	650	676	702	721	734	740	742
520	560	560	600	640	680	720	720	720	760	760
<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>k</i> ₁	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>k</i> ₁	<i>n</i>

Таблица XXXVI.

Длина рельсов в м.	Зазор для $+ 60^\circ$	Зазор при -40° в мм.	Зазор при $+ 10^\circ$	На раз- гон на 6 звеньев $+ 1$ мм.	Наибол. ширина зазора при $- 40^\circ$	Зазор при $+ 10^\circ$
10,0	0	11,8	5,9	4,5	16	10,5.
12,5	0	14,7	7,4	4,5	19	12
15,0	0	17,7	8,9	4,5	22	13,5

Увеличение ширины отверстия для болта в рельсах должно соответствовать ширине среднего зазора $+ 10^\circ$. На черт. 77 показана ширина отверстия для рельса II-а, при длине рельса 12,5 м.



Черт. 77.

Если рельсы будут длиной 15 м., то прямая часть отверстия для болта должна быть 13,5 мм.; в целях однообразия лучше всего установить для всех длин рельсов однообразную длину удлинения болтового отверстия в 13 мм.

VIII. РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЙ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 24. Общие положения.

Расходы по устройству искусственных сооружений на железных дорогах колеблются от 11% и достигают на некоторых дорогах 44% их действительной стоимости. Эти расходы в значительной степени зависят от величины отверстия сооружения.

Отверстие моста измеряется расстоянием в свету между его опорами (под карнизом подферменной площадки).

Отверстием трубы называется наибольшее расстояние в свету между боковыми стенками для всех труб, за исключением круглых, где отверстием считается диаметр ее.

Если отверстие рассчитано недостаточно для пропуска вод, то сооружение и прилегающая к нему насыпь могут быть размыты или повреждены проходом вод. Преувеличенные же размеры влекут за собой непроизводительные расходы, поэтому правильный расчет отверстия искусственных сооружений имеет громадное экономическое значение.

Сооружение жел. дорог, вне зависимости от того, трассирована ли линия насыпями или выемками, в корне нарушает существовавшее ранее распределение стока поверхностных вод.

При проведении жел. дорог поверхностные воды искусственным путем направляются в определенные пункты жел. дорог (лощины), где и устраиваются искусственные сооружения для их пропуска через полотно.

Отверстие моста искусственного сооружения должно быть достаточным для пропуска наиболее высоких вод. В больших

водотоках и реках наивысший горизонт имеет место весной во время таяния снегов, на малых же водотоках и в сухих оврагах наибольший горизонт, в большинстве случаев, бывает во время ливней. 1)

В первом случае горизонт воды повторяется периодически и подымается постепенно. Путем непосредственного наблюдения, а также опроса старожил можно установить наивысший горизонт весенних вод; горизонт воды во время ливней установить трудно, так как ливень длится в течение небольшого промежутка времени (не более 2—3 часов).

В связи с изложенным принято производить расчет отверстий для больших водотоков с бассейном более 60 кв. км. по наивысшему горизонту весенних вод, а для водотоков с бассейном менее 60 кв. км.—по ливневым водам, исходя из наблюдений над наиболее интенсивными ливнями.

Принятое при расчете положение, давая удовлетворительные результаты для большинства случаев практики, не является однако, общим, и цифра 60 кв. км. не будет строго определенной границей наибольших ливневых и весенних вод. В некоторых районах (горных) летние паводки могут дать большее количество воды с площадей, больших 60 кв. км., и, наоборот, бассейны, меньшие 60 кв. км., дают в некоторых случаях больше воды при весенних, что и наблюдается в северо-восточных районах.

Поэтому в сомнительных случаях надлежит произвести расчет отверстий в двух предположениях—на ливневые и на весенние наибольшие воды и принять наибольшее отверстие.

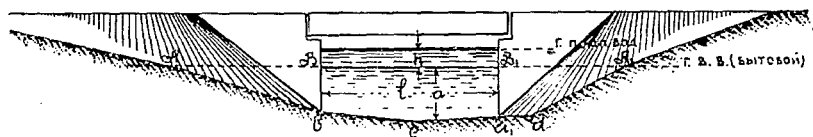
Наиболее существенной данностью при определении отверстий является расход воды, т.-е. количество воды, проходящее в секунду под искусственным сооружением; расход в данном поперечном сечении определяется произведением площади данного поперечного сечения воды или, как принято называть, живого сечения воды на среднюю скорость в этом сечении.

Средняя скорость воды в нестесненном сечении, т.-е. до постройки искусственного сооружения, определяется или непосредственным измерением, или на основании эмпирических формул.

1) Кроме северного района, где и на малых водотоках наибольший горизонт бывает при таянии снегов.

Скоростью в искусственном сооружении задаются; при этом в трубах и мостах малых отверстий возможно укрепить русло водотока в пределах искусственного сооружения (каменный лоток, двойные, одиночные мостовые и т. п.), поэтому скоростью можно задаваться довольно значительной, в связи с чем перед искусственным сооружением образуется подпор. Этот подпор вполне допустим, имея в виду отсутствие сплава и судоходства на небольших водотоках.

Для больших мостов укрепление русла неосуществимо, поэтому приходится задаваться средней скоростью, в зависимости от рода грунта русла реки, или скоростью, равной средней скорости главного русла реки в естественном ее быту, не нарушенным постройкой искусственного сооружения; в этом случае подпора почти не получается.



Чер. 78.

Расход водотока в смежных поперечных сечениях должен сохранять одну и ту же величину, так как вода, прошедшая через данное поперечное сечение, должна пройти и через смежное сечение. Пусть горизонт высоких вод доходит до линии AA_1 (чер. 78). Положим, что вблизи моста поперечное сечение будет $Aabcd A_1$, площадь коего— ω_1 , и средняя скорость воды в сечении равна V_1 , тогда расход Q будет:

$$Q = \omega_1 V_1.$$

Если мы выстроим искусственное сооружение отверстием l так, что площадь живого сечения $Bbcd_1 B_1$ будет равна ω_2 , при чем $\omega_2 < \omega_1$, то скорость в сечении под мостом V_2 будет больше V_1 , это является следствием равенства:

$$Q = \omega_1 V_1 = \omega_2 V_2,$$

где, при $\omega_2 < \omega_1$, должно быть $V_2 > V_1$.

Если средняя скорость под мостом— V_2 более V_1 —средней скорости подхода водотока к мосту, то перед мостом образуется подпор h (чер. 78—79).

Если назовем через:

h_1 — высоту в метрах, соответствующую скорости притекания воды к искусственному сооружению, равную $\frac{V_1^2}{2g}$,

V_1 — скорость притекания воды к искусственному сооружению в м/сек.,

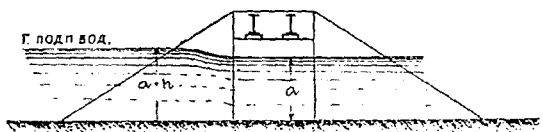
g — ускорение силы тяжести, равное 9,8 м/сек.²,

V_2 — скорость воды, допущенную в искусственном сооружении, в м/сек.,

h_2 — высоту в метрах, соответствующую скорости, допущенной под искусственным сооружением в зависимости от рода укрепления русла водотока под мостом, при чем $h_2 = \frac{V_2^2}{2g}$,

то величина подпора перед мостом h будет равна (чер. 78 и 79):

$$h = h_2 - h_1 = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}.$$



Чер. 79.

В малых мостах и трубах скорость под искусственным сооружением можно допустить значительно больше той скорости, которая была до постройки искусственного сооружения, так как русло водотока, как указано выше, укрепляется, подпор же, являющийся следствием увеличения скорости водотока внутри сооружения по сравнению к скорости подхода, является в большинстве случаев вполне допустимым.

Что же касается больших рек, то укрепление русла их встречает значительное затруднение по техническим и экономическим соображениям. Кроме этого значительное увеличение скорости внутри сооружения, сопряженное с увеличением подпора, изменяет существовавший ранее режим реки и влечет за собой ряд недопустимых последствий: затопление берегов, размыв и пр.

В больших реках, где должна быть учитываема возможность сплава и судоходства, подпор не может достигать значительной величины и, следовательно, V_2 не может быть много больше V_1 .

Из всего сказанного следует:

1) Искусственные сооружения (мосты) для больших водотоков с бассейном, более 60 кв. км., рассчитываются по расходу, соответствующему наибольшему горизонту, который бывает весной при таянии снега.

При расчете этих сооружений скорость под мостом не может значительно разниться от скорости подхода воды к мосту, так как связанные с увеличением скорости необходимость укрепления русла реки и образование подпора не могут иметь места для больших водотоков.

2) Искусственные сооружения (мосты малых отверстий, каменные и чугунные трубы), бассейном до 60 кв. км. рассчитываются по расходу, соответствующему горизонту воды, который получается путем расчета по принятой интенсивности ливня, а в некоторых районах расчет должен производиться на таяние снега.

При расчетах этих сооружений скорость под сооружением может быть значительно больше скорости подхода воды к сооружению, при чем русло водотока должно быть укреплено таким образом чтобы размыв, при допущенной под сооружением скорости, не имел места.

В тех случаях, когда не представляется возможным знать, получается ли больший расход при ливневых водах или весенних, надлежит произвести расчет расхода в двух предположениях и наибольший из них принять при определении отверстия сооружения.

§ 25. Определение данных, необходимых для расчета отверстий искусственных сооружений, перекрывающих водотоки с бассейном более 60 кв. км.

Горизонт весенних вод для больших рек (а в некоторых случаях и для малых) бывает во время весенних разливов от таяния снегов и удерживается на одном уровне в течение некоторого времени, а потому он может быть наблюден. Так как наибольшие величины тех данных, которые принимаются в основу расчета отверстия искусственных сооружений, т.-е. расход, горизонт, скорость повторяется через довольно значительные промежутки времени, то наблюдение таковых редко удается.

В виду этого наивысший наблюдавшийся горизонт приходится устанавливать:

а) на реках, обслуженных водомерными постами на основании данных наблюдений постов;

б) на реках, не обслуженных водомерными постами, путем опроса местных жителей или другими способами на месте.

Для расчета отверстия моста на пропуск наибольших весенних вод нужны следующие данные:

1) Сведения о горизонтах воды у места пересечения: горизонты низких, меженных, высоких и самых высоких вод, горизонты ледостава, самого высокого и самого низкого ледохода.

2) Живые сечения водотока должны быть сняты в количестве не менее трех (одно по оси перехода и по одному вверх и вниз от перехода) в пределах участка, в котором режим реки заметно не изменяется. Промеры глубины воды в живых сечениях должны быть сделаны, не дальше, как через 20 м.

В случае перехода линии через реку при исключительно неблагоприятных местных условиях для нормального живого сечения, где должны быть наблюдаемы скорость и уклоны, а также собраны и другие данные, необходимо выбрать, по возможности, правильный прямолинейный участок реки с однообразными взаимно параллельными берегами при всех других нормальных бытовых условиях; живые сечения в этом случае должны быть нормальны к направлению течения в русле.

3) Уклоны меженных и весенних вод должны быть определены тщательной нивелировкой по обоим берегам реки. Обычно уклон определяется на расстоянии 1 км. вверх и 1 км. вниз по реке от места перехода.

4) Определение скоростей в больших реках желательно производить вертушкой; при невозможности пользования вертушкой скорости могут быть определены поплавками специального устройства. Скорости в реках должны быть определены во время наибольшего горизонта.

Если горизонт воды в данный год не достигает значительной высоты, то все же полезно определять скорости при наибольшем наблюдаемом горизонте в целях проверки вычисляемых скоростей по уклонам воды. Средние скорости определяются на основании измерения скоростей в разных вертикалях вертушкой или скоростей на поверхности при определении

их поплавками, при чем средние скорости должны быть определены отдельно по главному руслу и по пойме.

5) Снятие плана реки в месте перехода производится в зависимости от характера пересекаемой части реки на более или менее значительном протяжении, но во всяком случае для больших рек не менее двух км. вверх и 1 км. вниз по реке от места перехода. На плане должны быть показаны все топографические особенности местности с урезом наибольшего разлива и направлением как главного течения, так и направления струй.

6) Необходимо собрать сведения о судоходстве: габарит плотов и судов, наивысший горизонт, при котором фактически производится сплав и плавают суда. Сведения эти должны быть согласованы с местными органами водного транспорта, если не имеется указаний Центральных учреждений НКПС'а.

7) Для определения геологического разреза русла реки необходимо произвести бурение в пределах пролета проектируемого моста. Если характер залегания грунтов в русле сильно меняется, то бурение должно быть произведено под каждой опорой.

8) Независимо от перечисленных сведений необходимо тщательно собрать всякие другие, могущие оказать существенное значение на работу отверстия, данные, например: влияние впадающих вблизи перехода притоков, возможные подпоры с низовой стороны, влияние зажоров и о плотинах.

9) При определении живого сечения надлежит обратить внимание на местные углубления, представляющие из себя при весенних водах скопление воды, не участвующей в общем движении. Такие места на величину расхода влияния не оказывают и называются мертвыми водоемами. Мертвые водоемы при определении расхода в расчет не вводятся.

Во время весеннего разлива вода почти всегда выходит из берегов и заливают прилегающие низменные места—поймы. При таких условиях живое сечение весенних вод не имеет однообразного характера, а представляет ряд чередующихся глубоких и мелких мест. Вследствие этого и средние скорости для частей с разными глубинами и разными шероховатостями лога будут различны.

Для определения расхода, наиболее приближающегося к действительному, надо разбить живое сечение на отдельные

части, по возможности, с однообразными глубинами и для каждой части определить среднюю скорость и площадь.

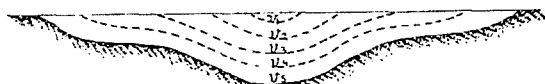
Если определение скоростей, соответствующих отдельным однообразным площадям живого сечения, произведено при самом высоком горизонте, то расход определяется по следующей общей формуле:

$$Q = \omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 + \omega_3 v_3 \dots \dots \dots (168)$$

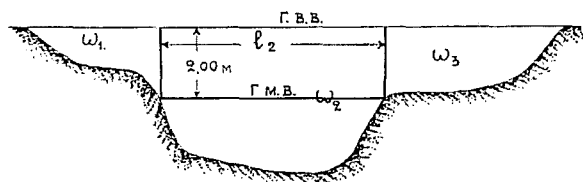
где ω_1 , ω_2 и ω_3 —площади левой поймы, главного русла и правой поймы;

v_1 , v_2 и v_3 —средние скорости течения самых высоких весенних вод, соответствующие площадям ω_1 , ω_2 и ω_3 .

Поперечные профили живых сечений вычерчиваются по отметкам, полученным при нивелировке пойм и по промеренным глубинам.



Чер. 80.



Чер. 81.

Обычно живое сечение делится на две поймы (левую и правую) и главное русло, ширина которого принимается совпадающим с горизонтом межених вод.

Если один берег не заливается, то получится лишь одна пойма.

Как видно из вышеприведенных формул, расход, кроме живого сечения, зависит от средней скорости. Кроме средней скорости для расчета отверстия искусственных сооружений необходимо знать наибольшую скорость по дну и наибольшую скорость на поверхности при самом высоком горизонте весенних вод.

Скорость течения изменяется как по поверхности воды живого сечения, увеличиваясь с увеличением глубины, так и по вертикальной; уменьшаясь с увеличением глубины.

Для расчета отверстий искусственных сооружений надо знать средние скорости отдельных частей живого сечения

(русла и пойм); сплав и судоходство не допускают повышения скоростей на поверхности выше определенных норм. Скорость по дну влияет на размываемость русла.

Для определения кривой распределения скоростей течения по поверхности реки производят измерение скоростей на поверхности воды в характерных точках живого сечения. Величины полученных скоростей откладывают на перпендикулярах в соответственных точках горизонтальной линии, изображающей поверхность воды на чертеже живого сечения. Соединяя концы перпендикуляров плавной кривой, получим кривую распределения скоростей по поверхности. Наибольшая скорость определяется непосредственным измерением по чертежу. Для определения средней скорости надо площадь, заключенную между кривой распределения скоростей, поверхностью воды и крайними перпендикулярами к ней, разделить на ширину живого сечения.

Определив скорости в разных точках одной и той же вертикали, непосредственным наблюдением (помощью вертушек), подобно предыдущему, строится кривая распределения скоростей для данной вертикали.

При непосредственных наблюдениях принято производить измерение скоростей для каждой характерной вертикали живого сечения.

Измерение скоростей по вертикалям обыкновенно производится:

- 1) на 0,30 м. от воды,
- 2) на 0,33 глубины от поверхности воды,
- 3) в промежуточных точках, в зависимости от глубины, через 1,00 — 2,00 м.,
- 4) на 0,30 м. от дна.

Средняя скорость течения по вертикали получается делением площади, ограниченной кривой распределения скоростей, вертикалью и крайними перпендикулярами (скоростями по поверхности и по дну) на длину вертикали. Величина расхода отдельных элементов живого сечения, заключенных между вертикалями, определяется произведением площади соответствующего элемента на полусумму средних скоростей, вертикалей его ограничивающих. Для получения полного расхода надо просуммировать элементы расходов всего живого сечения.

Средняя скорость всего живого сечения находится путем деления полного расхода на площадь данного живого сечения.

Для более точного определения расхода и средней скорости всего живого сечения применяется способ Кульмана. Этот способ заключается в следующем: имея полученное непосредственным измерением распределение скоростей по характерным вертикалям, на живом сечении наносят кривые, соответствующие одинаковым скоростям—изотахиям,—аналогично нанесению горизонталей на план (чер. 80).

Подсчитав площади, соответствующие изотахиям, определяют расход:

$$Q = \omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 + \omega_3 v_3 + \dots + \omega_n v_n = \sum \omega v;$$

и среднюю скорость всего живого сечения

$$V_c = \frac{Q}{\Omega} = \frac{\sum \omega v}{\sum \omega} \dots \dots \dots (169)$$

Опытными наблюдениями установлено, что между средней скоростью всего живого сечения, наибольшей скоростью на поверхности, наибольшей скоростью по дну и скоростями в разных точках одной и той же вертикали существуют зависимости, укладываемые в ниже помещенные эмпирические формулы.

По формулам Вейсбаха: средняя скорость каждой вертикали равна 0,915 от скорости на поверхности той же вертикали, а средняя скорость на поверхности равна 0,915 от наибольшей скорости на поверхности.

Следовательно, зависимость между средней скоростью (V_c) всего живого сечения и наибольшей скоростью (V_{ms}) на поверхности по формуле Вейсбаха получается:

$$V_c = 0,915 \times 0,915 V_{ms} = 0,837 V_{ms} \dots \dots (170)$$

Та же зависимость, по формуле Базена с учетом шероховатости дна и подводного радиуса, выражается следующим образом:

$$V_c = \frac{V_{ms}}{1 + 14 \sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}} \dots \dots \dots (171)$$

Таблица XXXVII.

№	Род стенки.	α	β
I	Очень гладкие стенки (строганные доски, цементная штукатурка) . . .	0,00015	0,0000045
II	Гладкие стенки (нестроганные доски, тесовая кладка, кирпичная кладка)	0,00019	0,0000133
III	Негладкие стенки (напр., бутовая кладка)	0,00024	0,00006
IV	Земляные стенки	0,00028	0,00035
V	Весьма шероховатые стенки (каменистое русло, галька и кражи) .	0,00040	0,00070

Зависимость между скоростью (V_s) на поверхности данной вертикали и скоростью (V_x) на известной глубине или скоростью (V_f) по дну той же вертикали—по формуле Вейсбаха:

$$V_x = \left(1 - 0,17 \frac{h_x}{h} \right) V_s \dots \dots \dots (172)$$

где h —полная глубина по данной вертикали, h_x —глубина от поверхности до той точки, для которой определяется скорость.

Для скорости по дну $h_x = h$ и следовательно,

$$V_x = 0,83 V_s.$$

Из последней формулы следует—зависимость между наибольшей скоростью (V_{mf}) по дну и наибольшей скоростью (V_{ms}) на поверхности выражается:

$$V_{mf} = 0,83 V_{ms} \dots \dots \dots (173)$$

Зависимость между наибольшей скоростью по дну (V_{mf}) и средней скоростью определяется, подставив, $V_{ms} = \frac{V_c}{0,837}$ и выражается нижеследующей формулой:

$$V_{mf} = 0,83 V_{ms} = \frac{0,83}{0,837} V_c = V_c \dots \dots \dots (174)$$

т.е. наибольшая скорость по дну почти одинакова с средней скоростью всего живого сечения.

Наблюдения наивысший горизонт или близкий к нему горизонт приходится редко; ¹⁾ тем не менее, однако, следует изучить в выбранных для расчета живых сечениях реки зависимость между высотами горизонтов и соответствующими им величинами

¹⁾ Высокая вода весной наблюдалась в 1881, 1908 и 1926 гг.

скоростей, и на основании усмотренной закономерности определить скорости при наивысшем горизонте.

Для указанной цели проще пользоваться графическим методом. Измерив непосредственно скорости и определив средние скорости, соответствующие разным горизонтам, строят кривую распределения скоростей, откладывая по оси абсцисс горизонты, а по оси ординат—средние скорости. Найдя на основании полученных точек закономерную кривую изменения скоростей, продолжают ее далее. Откладывая по оси абсцисс величину наивысшего горизонта и измерив соответствующую абсциссе ординату, получим величину искомой наибольшей скорости. Таким же способом выясняется зависимость расхода воды от высот горизонта и находится наибольший расход.

Скорость может быть определена и эмпирическими формулами, в зависимости от подводного радиуса (R) живого сечения, продольного уклона поверхности воды и коэффициента шероховатости. При определении средней скорости всего сечения по эмпирическим формулам поступают следующим образом: наносят на живом сечении принятый горизонт высоких вод, делят живое сечение на три части (левая пойма, главное русло и правая пойма) или, если один берег не заливадается, то—на две части, определяют площади каждой части ω_1 , ω_2 и ω_3 и затем определяют для каждой части среднюю скорость по формуле Шези—
 $v = C\sqrt{Ri}$.

Коэффициент C , по форм. Гангилье и Куттера:

$$v = \frac{\left[23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{2i} \right] \sqrt{Ri}}{1 + \left[23 + \frac{0,00155}{i} \right] \frac{n}{\sqrt{R}}} = \frac{\alpha_1 \sqrt{Ri}}{1 + \frac{\beta_1}{\sqrt{R}}} \quad \dots \quad (175)$$

где v —скорость в метрах в секунду,

i —уклон реки,

R —подводный радиус или средняя глубина, определенная делением площади сечения, для которого определяется скорость, на смачиваемый периметр.

В нижеследующей таблице XXXVIII приведены значения α_1 и β_1 для $n=0,025$ и $0,030$ для разных i , при чем:

$$\alpha_1 = 23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i};$$

$$\beta_1 = \left[23 + \frac{0,00155}{i} \right] n;$$

Таблица XXXVIII.

i	$n = 0,025$		$n = 0,030$		i	$n = 0,025$		$n = 0,030$	
	α_1	β_1	α_1	β_1		α_1	β_1	α_1	β_1
0,000000	~	~	~	~	0,001000	64,55	0,614	57,88	0,736
0,000001	1613,0	39,325	1606,3	47,100	2000	63,77	0,594	57,10	0,713
0,000010	218,0	4,450	211,3	5,340	3000	63,52	0,588	56,85	0,705
20	140,5	2,512	133,8	3,015	4000	63,39	0,585	56,72	0,702
30	114,7	1,867	108,0	2,240	5000	63,31	0,583	56,64	0,699
40	101,7	1,544	95,1	1,852	6000	63,26	0,581	56,59	0,698
50	94,0	1,350	87,3	1,620	7000	63,22	0,580	56,55	0,696
60	88,8	1,221	82,2	1,465	8000	63,19	0,580	56,52	0,696
70	85,1	1,128	78,5	1,354	9000	63,17	0,579	56,50	0,695
80	82,4	1,059	75,7	1,271	0,010000	63,15	0,579	56,48	0,694
90	80,2	1,005	73,6	1,206	20000	63,08	0,577	56,41	0,692
0,000100	78,5	0,962	71,8	1,115	30000	63,05	0,576	56,38	0,691
200	70,7	0,769	64,1	0,922	40000	63,04	0,576	56,37	0,691
300	68,2	0,704	61,5	0,845	50000	63,03	0,576	56,36	0,691
400	66,9	0,672	60,2	0,806		63,00	0,575	56,33	0,690
500	66,1	0,652	59,4	0,783					
600	65,6	0,640	58,9	0,761					
700	65,2	0,630	58,5	0,756					
800	64,9	0,623	58,3	0,748					
900	64,7	0,618	58,0	0,741					

При делении живого сечения на три части ω_1 , ω_2 и ω_3 соответственные подводные радиусы будут:

$$R_1 = \frac{\omega_1}{p_1}, \quad R_2 = \frac{\omega_2}{p_2} \text{ и } R_3 = \frac{\omega_3}{p_3},$$

где p_1 , p_2 и p_3 — периметры данных площадей.

В формуле Гангилье-Куттера —

n — коэффициент шероховатости, принимаемый в 0,025 для земляных русел (обычно главное русло реки) и в 0,030 для русел, покрытых зарослями (разливы рек).

Коэффициент шероховатости может быть определен для русла и пойм расчетным путем; для этого надо определить непосредственным измерением средние скорости для русла и каждой поймы, затем определить значения R и i ; тогда из форм. (175) определится значение n для русла и каждой поймы. Найденными значениями следует пользоваться при определении скорости для горизонта высоких вод.

Определив Γ , мы будем иметь расход:

$$Q = \omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 + \omega_3 v_3.$$

При определении расхода нельзя ограничиваться определением его по одному сечению, а лучше произвести подобные подсчеты в трех сечениях и, получив три значения Q_1 , Q_2 и Q_3 , взять для расчета среднее из них:

$$\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}$$

Если уклон i реки для наибольшего горизонта не известен, то следует определить уклон для горизонта данного года, для меженного, и, откладывая по оси абсцисс горизонты, а по оси ординат — значения i , получим закон изменения i от высоты горизонта и получим значение i для наибольшего горизонта.

Весьма часто принимают, что если площадь живого сечения при наивысшем горизонте ω_{max} и соответствующий неизвестный уклон i_{max} , а площадь живого сечения для горизонта данного года ω и соответствующий уклон i , то:

$$i_{max} = i \frac{\omega_{max}}{\omega} \dots \dots \dots (176)$$

Следует иметь в виду, что форм. (176) дает сильно преувеличенные результаты. Обработка данных водомерных постов

для ряда русских рек ¹⁾ привела к выводам, что увеличение i растёт с увеличением горизонта незначительно, при чем:

- а) для верховьев рек увеличения i при высоком горизонте почти нет по сравнению i при меженном горизонте;
- б) для среднего течения увеличение i доходит до 10—15%, и
- в) для низовьев рек увеличение i достигает 15—25%.

При расчете отверстий больших мостов надо иметь в виду следующее:

1. На разливах рек, как было уже сказано, бывают иногда отдельные ямы, водоемы, в которых вода не течет, поэтому такие водоемы, называемые мертвыми, не должны входить в расчетную площадь живого сечения.

2. Иногда река, для которой рассчитывается отверстие, подпирается водами реки, в которую она впадает; в этом случае надо рассчитать отверстие и на возможность пропуска подпертой воды.

§ 26. Определение отверстий мостов, пропускающих весенние воды с бассейнов, площадью более 60 кв. км.

Расчет отверстий больших мостов, перекрывающих водотоки, площадью больше 60 кв. км., производится на пропуск наибольших весенних вод. Величина отверстий моста должна быть назначена таковой, чтобы было обеспечено беспрепятственное прохождение воды. Отверстие моста должно быть не менее ширины русла при меженном горизонте, обычно же превышает эту ширину.

Расчет отверстий больших мостов производится, в зависимости от того, — допускается ли размыв русла или нет, следующим образом:

а) Размыв русла не допускается. В этом случае отверстие моста назначается с таким расчетом, чтобы скорость течения воды под мостом не превосходила той величины, при которой данный грунт размывается.

¹⁾ Дипломная работа инженера Р. М. Лившиц.

Если обозначим через ω площадь живого сечения под мостом после постройки такового и v — среднюю скорость под мостом, μ — коэффициент сжатия, величина коего зависит от формы опор и принимается:

$\mu = 0,85$ — при прямоугольном сечении промежуточных опор;

$\mu = 0,90$ — при закругленном сечении промежуточных опор;

$\mu = 0,95$ — при остrokонечном сечении промежуточных опор или, в случае отсутствия промежуточных опор.

Расход $Q = \mu\omega v$; среднюю скорость течения под мостом надо выбрать такой, чтобы не было размыва; поэтому принимают v равным бытовой скорости v_2 в главном русле; та же скорость допускается и на поймах.

Среднюю скорость v брать больше бытовой для главного русла можно лишь в том случае, если дно реки состоит из грунта, обеспечивающего неразмываемость для принятого значения v .

Величина необходимой площади живого сечения под мостом будет равна:

$$\omega = \frac{Q}{\mu v},$$

(где v — средняя скорость главного русла v_2) или допускаемая скорость, в зависимости от рода грунта.

Среднюю скорость течения под мостом сразу определить нельзя, так как она зависит от отверстия (ω) сооружения, поэтому расчет отверстия и средней скорости приходится производить путем подхода.

Сначала задаются или средней скоростью под мостом, равной наибольшей допускаемой скорости по дну для данного грунта, при которой размыва не происходит—при этом надо иметь в виду, чтобы эта скорость удовлетворяла требованиям сплава и судоходства, о чем будет сказано ниже,—или бытовой в главном русле (v_2).

Значение наибольших скоростей по дну для разных грунтов, при которых размыв не происходит, указано в нижеследующей таблице XXXIX.

Таблица XXXIX.

№№	Р о д г р у н т а .	Допускаемая скорость по дну (м/сек.)
1.	Илистый грунт	0,10
2.	Мелкий песок	0,25
3.	Крупный песок, лес и одиночная дерновка плашмя	0,60
4.	Глинистый грунт, средней плотности суглинок супесок	0,40—0,75
5.	Гравий и мелкая галька до 2½ см.	1,00
6.	Хрящеватый грунт, галька крупная	1,20
7.	Плотная, твердая глина, дерновка в стенку	1,50
8.	Каменистый грунт, одиночная мостовая	2,15
9.	Скальный грунт, двойная мостовая	3,10

Расчетная площадь ω более площади главного русла ω_2 ; площадь $\omega_0 = \omega - \omega_2$ должна пропускать воду пойм. Площадь ω_0 должна распределиться между левой и правой поймой пропорционально расходу пойм, т.-е. пропорционально величинам $\omega_1 v_1$ и $\omega_3 v_3$; обозначая площади поймы через ω'_1 и ω'_3 , получим:

$$\omega_0 = \omega'_1 + \omega'_3 \quad \quad (177)$$

$$\frac{\omega'_1}{\omega_0} = \frac{\omega_1 v_1}{\omega_1 v_1 + \omega_3 v_3} \quad \text{или} \quad \omega'_1 = \omega_0 \frac{\omega_1 v_1}{\omega_1 v_1 + \omega_3 v_3} \quad \quad (178)$$

В целях увеличения площади живого сечения под мостом, поймы могут быть разработаны выемкой грунта до горизонта меженных вод.

Если поймы разрабатываются до горизонта меженных вод, то, называя разницу горизонта высоких и меженных вод через h и величину отверстия моста в левой пойме—через l_1 и в правой—через l_3 , получим:

$$\omega_0 = \omega - \omega_2 = (l_1 + l_3) h \quad \text{или} \quad l_1 + l_3 = \frac{\omega - \omega_2}{h} \quad \quad (179)$$

Величины l_1 и l_3 пропорциональны расходам, т.-е.:

$$\frac{l_1}{l_1 + l_3} = \frac{\omega_1 v'_1}{\omega_1 v_1 + \omega_3 v_3} \quad \text{или} \quad l_1 = \frac{(\omega - \omega_2) \omega_1 v_1}{h (\omega_1 v_1 + \omega_3 v_3)} \quad \quad (180)$$

Называя величину отверстия моста по главному руслу через l_2 (соответствует ширине реки при меженнем горизонте), получим полное отверстие моста равным $l_1 + l_2 + l_3$.

Для беспрепятственного судоходства нормально допускают наибольшую скорость на поверхности 1,5 м/сек., в исключительных же случаях допускается, с особого разрешения в установленном порядке, увеличивать до 2,25 м/сек.

Для сплава и судоходства необходимо знать разность горизонтов подпертого и внутри сооружения, так называемого кажущегося подпора, а для выяснения затопления надо знать разность подпертого горизонта и бытового—истинный подпор.

По условиям судоходства, кажущийся подпор на судоходных реках не должен быть больше 0,065 м., для сплавных же рек допускается до 0,30 м.

Для определения кажущегося подпора площадь подпертого живого сечения перед мостом считаем состоящей из площади нестесненного живого сечения (ω) и добавки к этой площади подпертого слоя Lh' , на основании этого можно написать:

$$Q = (\omega + Lh') v',$$

где h' —кажущийся подпор—разность горизонтов подпертого перед мостом и под мостом,

L —с некоторым приближением может быть принята равной ширине по верху нестесненного живого сечения при наивысшем горизонте,

v' —средняя скорость в подпертом сечении;

$$v' = \frac{Q}{\omega + Lh'}$$

По закону живых сил:

$$\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv'^2}{2} = mgh',$$

откуда:
$$h' = \frac{v_0^2 - v'^2}{2g},$$

где v_0 —средняя скорость течения под мостом.

Подставляя вместо v_0 и v' их значения $\left(\frac{Q}{\mu\omega'} \text{ и } \frac{Q}{\omega + Lh'}\right)$, получим:

$$h' = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{(\mu\omega')^2} - \frac{1}{(\omega + Lh')^2} \right) \dots \dots (180^1)$$

Уравнение решается по приближению, путем подстановки, для первого приближения принимают $\frac{Q}{Lh'} = 0$.

Истинный подпор определяется по формуле:

$$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g} \dots \dots \dots (181)$$

где v_0 —средняя скорость под мостом,

v —средняя скорость нестесненного живого сечения.

б) Размыв русла допускается. В этом случае допускают под мостом скорость большую, чем среднюю скорость в нестесненном главном русле, для чего задаются отверстием моста меньшим, чем для случая отсутствия размыва. После постройки моста начнется размыв, площадь живого сечения под мостом будет постепенно увеличиваться, а соответствующая скорость течения—уменьшаться. Размыв будет продолжаться до тех пор, пока средняя скорость не уменьшится до значения v_2 , отвечающего грунту ложа реки, и площадь расчетного живого сечения под мостом не достигнет величины, равной:

$$\omega = \frac{Q}{\mu v_2},$$

где Q —наибольший расчетный расход,

v_2 —допускаемая средняя скорость, в зависимости от грунта русла после размыва; при расчете, обыкновенно, задаются средней скоростью (v_2) после размыва, равной средней скорости нестесненного сечения.

Назовем:

h_m —наибольшую глубину живого сечения самых высоких вод до размыва; h_m определяется непосредственным измерением по данному живому сечению под мостом;

h —среднюю глубину под мостом принятого отверстия до размыва и равную частному от деления площади живого сечения моста до размыва на принятое отверстие моста.

H_m —наибольшую глубину после размыва;

H —среднюю глубину после размыва.

Далее вводится предположение, что отношение— a наибольшей глубины к средней—до и после размыва сохраняет свою величину.

Средняя глубина H после размыва определяется делением

$\omega = \frac{Q}{\mu v_2}$ на принятое отверстие моста.

На основании изложенного будем иметь:

$$\frac{h_m}{h} = \frac{H_m}{H} = \alpha.$$

Откуда определим:

$$H_m = H\alpha \text{ и } h_m = h\alpha;$$

и глубина наибольшего размыва—

$$p = H_m - h_m;$$

величина среднего размыва—

$$p_0 = H - h.$$

Если величина (p), по местным условиям, допустима, то принятое отверстие моста можно допустить; в противном случае надо задаться большим отверстием моста.

Пример. Пусть для живого сечения по чертежу 81-му.
и скорости (средние):

$\omega_1 = 50$ кв. м.	соответственно	$v_1 = 0,10$ м.
$\omega_2 = 300$ кв. м.	определены p и R	$v_2 = 0,70$ м.
$\omega_3 = 100$ кв. м.		$v_3 = 0,20$ м.

тогда:

$$Q = 0,10 \times 50 + 0,70 \times 300 + 0,20 \times 100 = 235 \text{ куб. м.}$$

Площадь сечения под мостом при $\mu = 0,90$:

$$\omega = \frac{235}{0,90 \times 0,70} = 375 \text{ кв. м.}$$

Так как главное русло ω_2 занимает 300 кв. м., то на поймы придется $375 - 300 = 75$ кв. м.

Положим, что поймы разработаны до горизонта меженных вод и разница горизонтов высоких и меженных вод равна 2 м., тогда длина моста в пределах пойм $= 75 : 2 = 37,5$ м.

Если длина части моста, соответствующей главному руслу, равна $l_2 = 60$ м., то отверстие моста равно $60 + 37,5 = 97,5$ м.

Так как по левой пойме проходит $0,1 \times 50 = 5$ куб. м., а по правой $0,2 \times 100 = 20$ куб. м., то по левой пойме длина моста 7,5 м., по правой 30 м.

В данном случае общее отверстие моста следует округлить до 100 м.

Положим, при тех же условиях допускается размыв.

Зададимся отверстием моста в 70 м., т.-е. на 10 м. более ширины главного русла.

Принимая разработку пойм до межених вод, получим:

Площадь главного русла $\omega_2 = 300$ кв. м. и обе площади пойм $10 \times 2 = 20$ кв. м., общая площадь живого сечения под мостом $300 + 20 = 320$ кв. м. $= \omega_n$.

Так как при отсутствии размыва площадь живого сечения под мостом должна быть в 375 кв. м., то размыв продолжится до тех пор, пока, благодаря размыву, живое сечение под мостом не достигнет этой площади. В этом случае скорость v_n до размыва будет:

$$v_n = \frac{235}{0,90 \times 320} = 0,82 \text{ м.} > 0,70 \text{ м.}$$

После размыва скорость будет 0,70 м., и площадь живого сечения 375 кв. м. и при отверстии 70 м. средняя глубина:

$$h \text{ — до размыва} = \frac{320}{70} = 4,57 \text{ м.}$$

$$H \text{ — после размыва} = \frac{375}{70} = 5,35 \text{ м.}$$

Пусть наибольшая глубина не размывого русла будет $h_m = 7$ м.,

тогда:

$\frac{h_m}{h} = \frac{7}{4,57} = 1,53$, и наибольшая глубина после размыва H_{max} равна $5,35 \times 1,53 = 8,19$ м.

Наибольшая глубина размыва $= 8,19 - 7,00 = 1,19$ м.

Средняя глубина размыва $= 5,35 - 4,57 = 0,78$ м.

Если эти величины размывов допустимы, то отверстие моста в 70 м. может быть допущено.

При допущении размыва расчетная глубина заложения принимается для промежуточных опор от отметки наибольшего размыва, а для устоев и береговых опор—от горизонта среднего размыва.

Если при расчетной глубине размыва размывается тот же грунт, который расположен на дне реки, то скорость v_2 допустима; если же после размыва смывается другой слой грунта, то следует различать следующие два случая:

а) Пусть размыв (чер. 82) более h_0 (слоя глины)—и верхний слой будет смыт; если под ним будут залегать грунты более слабые, то скорость v_2 недопустима, а нужно допустить меньшую скорость, соответствующую данному грунту, или не допускать размыва на полную высоту h_0 ;

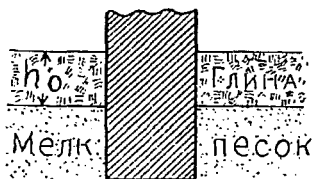
б) если же под слабым грунтом (чер. 83), составляющим дно реки, расположен грунт, допускающий большую скорость, то можно скорость размыва допустить большую, нежели v_2 .

При назначении отверстия моста с допущением размыва надо исследовать вопрос, не могут ли отложения выносимого из-под моста грунта причинить ущерб нижележащей территории.

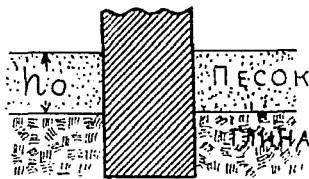
Кроме сего, необходимо проверить скорость течения на поверхности реки в первое время размыва, так как первоначальная скорость на поверхности имеет значительную величину и определяется по средней скорости:

$$v = \frac{Q}{\omega v'},$$

где ω^1 — площадь живого сечения под мостом до размыва.



Чер. 82.



Чер. 83.

Наибольшая допустимая глубина размыва, в отношении устойчивости опор моста, зависит от возможной при данных условиях глубины заложения основания опор.

Глубина заложения, считая таковую от размывтого дна, определяется по формуле Паукера:

$$y = m \frac{\Delta}{\delta} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90 - \varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (182),$$

где m — коэффициент безопасности (принимаемый = 2),
 Δ — допускаемое давление на единицу площади основания,
 δ — вес куб. ед. песка,
 φ — угол естественного откоса грунта, составляющий для глины и растительной земли $42^\circ - 30^\circ$, а для песка— $35^\circ - 20^\circ$, в зависимости от крупности и степени насыщения водой.

Когда отверстие определено, то следует сравнить его величину с отверстием другого моста на той же реке, если таковой существует, и если разница получится значительной, то надо войти в критическую оценку таковой разницы.

Некоторой поверкой, сообразности величины отверстия может служить таблица Белинского, рекомендованная для руководства бывш. Министерством Путей Сообщения.

Площадь живого сечения ω в кв. м. определяется по ф-ле:

$$\omega = kS \dots \dots \dots (183),$$

где S — площадь бассейна в кв. км.; если бассейн не заснят, то площадь его определяется по карте;

k — коэффициент по таблице Белинского.

Отверстие определяется по формуле:

$$l = \frac{\omega}{H} = \frac{\omega}{\mu (l_{max} - 1,3 h_0)}$$

l_{max} и h_0 — наибольшая глубина в метрах при высоком и меженнем горизонтах,

$\mu = 0,90$ —коэффициент сжатия,

ω — площадь, определенная по форм. (183).

Таблица Белинского—коэффициентов для определения площади живого сечения.

Поверхность бассейна в квадр. километр.	Коэффициент K , на который должна быть умножена поверхность бас- сейна в кв. км. для получения живого сечения весенних вод в кв. км.
55— 110	0,28
110— 340	0,24
340— 570	0,20
570— 1140	0,18
1140— 2280	0,16
2280— 5700	0,14
5700— 11400	0,12
11400— 17100	0,10
17100— 22800	0,08
22800— 34100	0,06
34100— 56900	0,04
56900—113800	0,03
113800—341000	0,028

Расчет отверстий по способу гидравлических эквивалентов (способ Каншина) производится следующим образом.

Возьмем общее выражение площади живого сечения под мостом:

$$\omega = \frac{Q}{\mu v_2}$$

Положим, что при разливе образуется главное русло и две поймы, тогда:

$$Q = \omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 + \omega_3 v_3.$$

Путем подстановки получим:

$$\omega = \frac{\omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 + \omega_3 v_3}{\mu v_2},$$

где Q — наибольший возможный расход весенних вод; все нижеперечисленные данные взяты при горизонте, соответствующем этому расходу;

v_2 — средняя скорость под мостом, принятая равной средней скорости главного русла нестесненного потока;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ — площади живых сечений пойм (ω_1 и ω_3) и главного русла (ω_2);

v_1, v_2 и v_3 — средние бытовые скорости этих сечений;

μ — коэффициент сжатия струи.

Для дальнейшего преобразования вводятся коэффициенты, представляющие отношения бытовых скоростей на поймах к бытовой скорости главного русла (v_2), при этом средняя скорость под мостом принимается равной (v_2):

$$\frac{v_1}{v_2} = \gamma_1; \frac{v_3}{v_2} = \gamma_3; \text{ т.-е. } v_1 = v_2 \gamma_1, \text{ и } v_3 = v_2 \gamma_3.$$

Подставляя в формулу необходимой площади отверстия моста и сокращая на v_2 , получим:

$$\omega = \frac{\omega_1 \gamma_1 + \omega_2 + \omega_3 \gamma_3}{\mu} \dots \dots \dots (184).$$

Коэффициенты γ_1 и γ_3 характеризуют удельное значение в гидравлическом отношении живых сечений пойм по отношению к живому сечению главного русла и называются коэффициентами гидравлической эквивалентности.

Числитель предыдущего выражения представляет величину площади, гидравлически эквивалентную живому сечению потока при наивысшем горизонте весенних вод.

Определяя скорости по формуле Шези с коэффициентом Базена, определяем коэффициенты гидравлической эквивалентности:

$$v_1 = \frac{87 \sqrt{R_1 i}}{1 + \frac{C_1}{\sqrt{R_1}}}; \quad v_2 = \frac{87 R_2 \sqrt{i}}{\sqrt{R_2 + C_2}}; \quad v_3 = \frac{87 R_3 \sqrt{i}}{\sqrt{R_3 + C_3}}$$

$$\gamma_1 = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{R_2 + C_2}}{\sqrt{R_1 + C_1}} \frac{R_1}{R_2}; \quad \gamma_3 = \frac{v_3}{v_2} = \frac{\sqrt{R_2 + C_2}}{\sqrt{R_3 + C_3}} \frac{R_3}{R_2};$$

где R_2 — гидравлический радиус главного русла,

R_1 и R_3 — гидравлический радиус пойм,

C_1 , C_2 и C_3 — коэффициенты, зависящие от поверхности дна русла и пойм.

При величине C_2 — главного русла 0,85, соответствующей плотным земляным грунтам и $C_1 = C_3 = 1,75$ для пойм, соответствующий земляным заросшим водорослями руслам, значения гидравлических эквивалентов имеют в метрических мерах следующий вид:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{0,85 + \sqrt{R_2}}{1,75 + \sqrt{R_1}} \cdot \frac{R_1}{R_2} \\ \gamma_3 &= \frac{0,85 + \sqrt{R_2}}{1,75 + \sqrt{R_3}} \cdot \frac{R_3}{R_2} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (185)$$

Наибольшая могущая быть расходимость в величине отверстия подсчитанного по формуле Каншина и по точному, по исчислению Каншина, не превосходит 5%.

Вышеуказанный способ применим и для определения отверстий мостов с допущением размыва, при этом величина наибольшего и среднего размыва определяется так же, как и при обычном способе.

Так как при выводе формулы исходили из действительной скорости течения главного русла до стеснения, то Каншин, не считает нужным определять наибольшую скорость в сооружении, и полагает, что эта скорость не будет более предельной скорости течения главного русла, существовавшей до сооружения моста.

Указанный способ пригоден только для рек не судоходных и не сплавных, так как при этом способе подпор не определяется и потому нельзя с уверенностью сказать, что при принятом отверстии подпор не превзойдет допускаемых размеров.

Определив гидравлические эквиваленты, находим площадь живого сечения по формуле:

$$\Omega = \frac{\omega_1 \gamma_1 + \omega_2 + \omega_3 \gamma_3}{\mu}$$

В случае отсутствия пойм $\gamma_1 = \gamma_3 = 0$

$$\Omega = \frac{\omega_2}{\mu} \dots \dots \dots (186)$$

где ω_2 — площадь наименьшего нестесненного живого сечения.

Расчет по гидравлическим эквивалентам, с разрешения высших инстанций, был применен при постройке некоторых железнодорожных линий.

При широких поймах случается, что главная масса воды направляется по староречью, вне предела разлива. В таком случае возникает вопрос, ограничиться ли устройством одного моста на главном русле или еще необходимо перекрыть староречье.

При пересечении длинных речных пойм устройство дополнительных искусственных сооружений допускается только в исключительных случаях, после детального обследования условий прохождения высоких вод. Это объясняется тем, что не представляется возможным установить, какое количество воды направится в дополнительное искусственное сооружение, а давать последнему отверстие, равное основному, — не экономно. Несмотря на все сказанное, устройство дополнительных сооружений на пойме иногда является крайне необходимым, напр., если главный поток весенних вод направляется по староречью и отвести главное русло не представляется возможным по местным условиям или при очень широких поймах, когда при одном мосте получается большая разница уровней воды с разных сторон насыпи и появляются сильные течения вдоль нее.

Небольшие искусственные сооружения, расположенные в пределах пойм и служащие для пропуска под насыпь водоотводных канав, надлежит делать шандорными и закрывать их на время весенних вод.

Разбивка всего отверстия моста на отдельные пролеты всецело зависит от местных условий: очертания главного русла, от условий устройства фундамента, высоты моста, требований судоходства, условий сборки ферм и пр.

Для правильного решения указанного вопроса надо сделать примерные подсчеты стоимости по разным вариантам, наиболее подходящим к данным условиям, имея в виду, что чем более стоимость опор, тем выгоднее увеличивать отверстие.

Высота моста, а также и ширина пролетов назначается во всем согласно § 47 технических условий проектирования и сооружения магистральных ж. д. нормального типа и правил, установленных Народным Комиссариатом Путей Сообщения, о допускаемых размерах судоходных пролетов и возвышения ферм мостов.

Наименьшее возвышение низа фермы над подпорным горизонтом берется из вышеуказанных правил и § 47 Т. У.—Расстояние от низа фермы до бровки насыпи получается в зависимости от конструкции ферм.

Как пример расчета отверстий больших мостов, приведем расчет применительно к расчету, произведенному при сооружении ж. д. Жлобин-Шепетовка через р. Березину, на 34 версте.

Наивысший горизонт весенних вод, определенный на основании записей водомерных постов ¹⁾, выражается:

В месте перехода	(65,26)	139.24 м.
Горизонт низкой воды	(63,34)	134.14 м.
» меженных вод	(63,44)	134.36 м.
Наивысший горизонт весеннего ледохода .	(65,20)	139.11 м.
Горизонт ледостава	(63,50)	134.48 м.

Уклон весенних вод р. Березины принят, для расчета отверстия моста, равным среднему из измерений по полуверстным участкам $i = 0,0001$.

Наблюденный горизонт высоких вод доходил до отм. (64,50 с.), т.-е. на (0,76 с.) ниже наивысшего, поэтому наибольший расход весенних вод определяется по эмпирическим формулам, по живым сечениям реки, с наиболее правильным течением воды. Окончательный наибольший расход Q_{max} определен по трем живым сечениям: по линии перехода мостом, на расстоянии 10,5 в. выше и 11 в. ниже линии перехода.

При определении скоростей в живых сечениях пользуемся формулой Шези:

$$v = C\sqrt{Ri};$$

с коэффициентом Гангилье и Куттера:

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left[23 + \frac{0,00155}{i} \right] \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

¹⁾ Цифры в скобах—сажени.

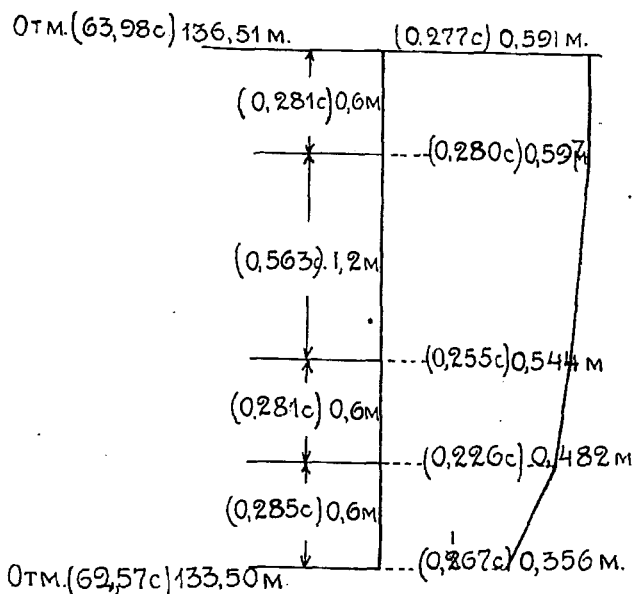
Коэффициент шероховатости (n) вычислен по расходу реки при горизонте 63,98 с. в месте перехода, по скоростям, измеренным вертушкой.

Наблюдения скоростей производились в характерных вертикалях на разных глубинах, и на основании этих наблюдений были построены эпюры распределения по вертикалям скоростей, определенных вертушкой при горизонте воды 63,98 с.

Результаты измерения вертикали № 4 пик. № 344 + 18, при $h = 1,41$, графически имеет следующее изображение (чер. 84):

$$\omega = \frac{(0,591 + 0,597)}{2} \times 0,600 + \frac{0,597 + 0,544}{2} \times 1,201 + \\ + \frac{0,544 + 0,482}{2} \times 0,600 + \frac{0,482 + 0,356}{2} \times 0,609 = 1,605$$

$$v_{cp.} = \frac{1,605}{136,51 - 133,50} = 0,53 \text{ м/сек.}$$



Чер. 84.

По средним скоростям вертикалей определились частичные расходы (между двумя вертикалями) по следующей формуле:

$$q = \frac{V_{n-1} (2h_{n-1} + h_n) + V_n (h_{n-1} + 2h_n)}{6} l_n,$$

где h_{n-1} и h_n — глубины в соответствующих точках,
 l_n — расстояния между вертикалями.

Расход всего сечения:

$$Q = \Sigma q = (10,583) \text{ куб. саж./сек.} = 102,76 \text{ куб. м./сек.}$$

Коэффициент шероховатости определяется из нижеследующего:

$$Q = \Omega v = \Omega C \sqrt{Ri} = \Omega \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left[23 + \frac{0,00155}{i} \right] \frac{n}{\sqrt{R}}} \times \sqrt{Ri}$$

Подставляя в это выражение

$Q = (10,583) \text{ куб. саж./сек.} = 102,76 \text{ куб. м./сек.}$ — расход главного русла при горизонте (63,98) 136,51 и в живом сечении по оси перехода,

$\Omega = (53,225 \text{ кв. с.}) = 242,32 \text{ кв. м.}$ — площадь сечения главного русла по оси перехода, $i = 0,0001$ — уклон, наблюдаемый при изысканиях,

$$R = \frac{\Omega}{p} = \frac{242,32}{100,19} = 2,42 \text{ — подводный радиус,}$$

получим:

$$n = 0,0474.$$

При определении же средней скорости при наивысшем горизонте коэффициент шероховатости n был принят средним из величины определенной и обычно принимаемый для русел земляных и песчаных:

$$n = \frac{0,0474 + 0,025}{2} = 0,036.$$

Подобным же способом был найден коэффициент (n) и для пойм, поросших деревьями, кустарником:

$$n = 0,0535.$$

Вычисление расхода весенних вод р. Березины по живому сечению, находящемуся в 11,2 км. выше линии перехода реки.

1. Г л а в н о е р у с л о.

Площадь живого сечения при наивысшем горизонте:

$$\Omega_2 = 669,12 \text{ кв. м.}$$

Подводный периметр $p_2 = 144,89 \text{ м.}$

$$\text{Подводный радиус } R_2 = \frac{\Omega_2}{p_2} = \frac{669,12}{144,89} = 4,618 \text{ м.}$$

$$\text{Уклон реки } i = 0,0001.$$

$$\text{Коэффициент шероховатости в фор. Гангиле и Куттера:} \\ n = 0,036.$$

Средняя скорость течения:

$$V_2 = C_2 \sqrt{R_2 i} = \frac{23 + \frac{1}{0,036} + \frac{0,00155}{0,0001}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{0,0001}\right) \frac{0,035}{\sqrt{4,618}}} \sqrt{4,618 \times 0,0001} = 0,864 \text{ м/сек.}$$

и соответствующий расход:

$$Q_2 = \Omega_2 V_2 = 669,12 \times 0,864 = 578,12 \text{ куб. м.}$$

2. Л е в а я п о й м а ¹⁾.

$$\text{Площадь—}\Omega_1 = 3538,06 \text{ кв. м.}$$

$$\text{Подводный периметр—}p_1 = 2098,71 \text{ м.}$$

$$\text{Подводный радиус—}R_1 = \frac{\Omega_1}{p_1} = 1,68.$$

$$\text{Уклон реки—}i = 0,0001.$$

$$\text{Коэффициент шероховатости—}n = 0,0535.$$

Средняя скорость течения:

$$V_1 = \frac{23 + \frac{1}{0,0535} + \frac{0,00155}{0,0001}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{0,0001}\right) \frac{0,0535}{\sqrt{1,68}}} \sqrt{1,68 \times 0,0001} = 0,284 \text{ м./сек.}$$

и соответствующий расход:

$$Q_1 = \Omega_1 V_1 = 3538,06 \times 0,284 = 1015,36 \text{ куб. м.}$$

Полный расход:

$$Q' = Q_1 + Q_2 = 578,12 + 1015,36 = 1593,48 \text{ куб. м.}$$

¹⁾ Правой поймы нет.

Вычисление расхода р. Березины по живому сечению по линии перехода.

Площади ж. с. Ω	Подводный периметр. p	$R = \frac{\Omega}{p}$ подводн. радиус.	Уклоны по- верхности воды.	Кэффиц. шерохов. n	Средняя скорость v .	РАСХОД.
523,95	106,90	4,90	0,0001	0,036	0,902	472,60 глав. рус.
5288,95	3165,25	1,670	0,0001	0,0535	0,285	1507,35 лев. пойма.
						1979,95 куб. м.

Вычисление расхода весенних вод р. Березины по живому сечению на 11,74 км. ниже линии перехода.

Площади ж. с. Ω	Подводный периметр. p	$R = \frac{\Omega}{p}$ подводн. радиус.	Уклоны по- верхности воды.	Кэффиц. шерохов. n	Средняя скорость v	РАСХОД $Q = \Omega v$.
63,2	65,31	0,968	0,0001	0,0535	0,181	11,44 прав. пойма.
1317,10	411,17	3,202	0,0001	0,036	0,607	879,50 глав. рус.
2687,9	1278,97	2,101	0,0001	0,0535	0,342	919,26 лев. пойма.
						1810,20 куб. м.

Данное живое сечение взято ниже впадения в р. Березину речки Выдрицы с расходом воды ≈ 140 куб. м., поэтому действительный расход р. Березины в этом сечении будет равен:

$$Q = 1810,20 - 140 = 1670,2 \text{ куб. м.}$$

Вычисленный расход меньше определенного по оси перехода, но кажущееся противоречие объясняется (в пояснительной записке) следующими обстоятельствами:

1) Сечение по оси перехода режет нормально только главное русло, пойма пересекается под значительным углом к направлению течения весенних вод;

2) На пойме имеется много заболоченных мест, которые до некоторого горизонта являются мертвыми местами; все эти

места на величину расхода не влияют, но при подсчете расхода в этом сечении такие места не исключены из опасения возможных неточностей в определении горизонтов.

Проверка по таблице Белинского.

Живые сечения.	Наибольшие расходы по приведенным расчетам.	Бассейны соответств. разным ж. с. в кв. км.
I живое сечение . .	$Q_1 = 1593,48$	22294,90
II живое сечение . .	$Q_2 = 1979,95$	22762,00
III живое сечение . .	$Q_3 = 1670,20$	22807,50

Для первого сечения площадь отверстия моста ω_1 , по таблице Белинского, получается:

$$\omega_1 = k_1 Q_1 = 0,08 \times 22294,9 = 1784 \text{ кв. м.}$$

Площадь отверстия моста для бассейна между I ж. с. и II ж. с. равным $22762 - 22294,9 = 467,1$ кв. м., по таблице Белинского, будет:

$$\omega_2 = k_2 Q_2 = 0,2 \times 467,1 = 93 \text{ кв. м.}$$

$$\text{Полагая, что } \frac{Q_1}{Q} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \text{ или } Q = Q_1 \frac{\omega_2}{\omega_1},$$

расход весенних вод, соответствующий площади 467,1 кв. м., будет:

$$Q = \frac{1593,48 \times 93}{1784} = 83 \text{ куб. м./сек.}$$

Прибавим к расходу воды в 1-м сечении определенный расход на линии перехода реки мостом:

$$1593,48 + 83 = 1676,5 \text{ куб. м.}$$

На основании вышеизложенного, для расчета отверстия моста наибольший расход весенних вод р. Березины принят равным среднему из трех найденных:

$$Q_{\max} = \frac{1593,48 + 1979,95 + 1670,10}{3} = 1750 \text{ куб. м.}$$

Средняя скорость под мостом принята равной средней скорости главного русла реки в нестесненном сечении по линии перехода:

$$v_0 = 0,902 \text{ м/сек.}$$

Наибольшая скорость на поверхности, по Вейсбаху:

$$v_p = \frac{0,902}{0,837} = 1,078 \text{ м/сек.}$$

Наибольшая скорость по дну нестесненного сечения, по Вейсбаху:

$$v_g = 0,902 \text{ м/сек.}$$

Под мостом, непосредственно под тонким слоем растительной земли и глины следует песок с глиной, размываемые при скорости около $v = 1,15$ м/сек.; поэтому при расчете допускают размыв и полагают, что таковой и остановится на этом пласте; для запаса скорость эта принимается равной:

$$v_0 = 0,902 \text{ м/сек.}$$

Площадь живого сечения под мостом после размыва будет:

$$\omega_1 = \frac{Q_{max}}{\mu v_0} = \frac{1750}{0,95 \times 0,902} = \frac{1750}{0,857} = 2042 \text{ кв. м.}$$

Задаемся чистым отверстием моста—320,04 м., перекрывая реку тремя равными пролетами по 106,68 м. и береговыми пролетами по 21,34 м.

При принятых размерах опор и уклонах боковых граней быков чистое отверстие по низу для 106,68 м. пролета получается 106,133 м. и общее отверстие по низу равно:

$$l = 106,133 \times 3 = 318,399 \text{ м.}$$

Допуская разработку русла до отметки меженного горизонта, получим полезную площадь (за вычетом быков) отверстия моста до размыва:

$$\omega_0 = 1422,38 \text{ кв. м.}$$

Средняя глубина воды живого сечения реки под мостом до размыва:

$$h_0 = \frac{1422,38}{318,399} = 4,47 \text{ м.}$$

Наибольшая глубина воды живого сечения в пролетах моста до размыва равна:

$$H_0 = (65,26) 139,24 - (62,39) 133,11 = 6,13 \text{ м.}$$

Средняя глубина воды под мостом после размыва:

$$h'_0 = \frac{\omega_1}{l} = \frac{2042}{318,399} = 6,41 \text{ м.}$$

Наибольшая глубина воды после размыва будет:

$$H'_0 = \frac{H_0}{h_0} h'_0 = \frac{6,13}{4,47} \times 6,41 = 8,79 \text{ м.}$$

Наибольший размыв:

$$p_m = H'_0 - H_0 = 8,79 - 6,13 = 2,66 \text{ м.}$$

Средний размыв:

$$p_c = h'_0 - h_0 = 6,41 - 4,47 = 1,94 \text{ м.}$$

Наибольшая скорость под мостом до образования размыва:

$$v = \frac{1750}{0,95 \times 1422,38} = 1,3 \text{ м/сек.}$$

При этих условиях величина подпора K будет:

$$K = \frac{1,3^2 - 0,9^2}{2 \times 9,81} \approx 0,05 \text{ м.}$$

§ 27. Определение данных, необходимых для расчета отверстий искусственных сооружений, перекрывающих водотоки с бассейном менее 60 кв. км. (наибольшие ливневые воды).

Величина расхода ливневых вод зависит от интенсивности и распределения атмосферных осадков, длины, ширины и площади бассейна, от топографии местности, от почвенных условий и от растительности, покрывающей площадь бассейна.

В общем виде расход от ливневых вод выражают ниже следующей формулой:

$$Q = K h \alpha \beta F \dots \dots \dots (187),$$

где: K — коэффициент поглощаемости, зависящий от качества грунта;

h — толщина слоя выпадающих осадков на единицу площади в единицу времени;

α — коэффициент, зависящий от длины бассейна;

β — коэффициент, зависящий от уклона бассейна;

F — площадь бассейна.

Из всех множителей, входящих в формулу, точно может быть определена только площадь, все же остальные находятся приближенно, опытным путем.

При определении коэффициентов, входящих в формулу, надо учесть два существенных обстоятельства:

1) При большой площади бассейна не вся площадь подвергается наибольшему ливню, и

2) Вследствие непродолжительности ливня, при значительных площадях, не вся вода за время ливня успеет дойти до сооружения.

Последнее обстоятельство иногда учитывается особым коэффициентом, называемым коэффициентом стока ливневых вод.

Для вывода эмпирических формул надо, на основании опытных данных, для характерных районов определить коэффициенты, входящие в общую формулу, и по ним составить формулы.

В настоящее время для расчета искусственных сооружений применяются нормы Кестлина.

Имея в виду, что расход, рассчитанный по формуле Кестлина, для большинства случаев для средней полосы дал хорошие результаты и что формула Кестлина не отменена; в дальнейшем будут рассмотрены сначала формулы Кестлина, а затем— Кестлина-Николаи.

Формула Кестлина получается из общей (187), если положить: $h = 16 \text{ м}^3$; $K = 1$ и β — равный 1 для холмистой местности и равный 0,5 — для пологих долин. Последнее обстоятельство Кестлином оговорено и в формулу, в виде коэффициента, не введено.

Формула Кестлина для определения наибольших ливневых вод имеет следующий вид:

$$Q = 16 \alpha F \text{ куб. метров} \dots \dots \dots (187')$$

где Q — расход в куб. м. в 1 секунду,

F — площадь бассейна в кв. км.

α —коэффициент, показывающий, какая доля выпавшей воды может достигнуть сооружения, в зависимости от длины L бассейна; величина этого коэффициента приведена в табл. XL.

Значение уклона бассейна Кестлин учитывает тем, что для пологих бассейнов величина коэффициента α уменьшается вдвое.

В основу расчета, при определении количества осадков, выпадающих на кв. км. в секунду, Кестлин принял ливень,

наблюдавшийся на юге Венгрии, в районе Трансильванских Альп, в горном округе Банат, давший в течение 10 мин. осадок 9, 6 мм.

При таких условиях количество воды (объем), выпадающее на 1 кв. км. в 1 секунду будет:

$$\frac{9,6 \times 1000^2}{10^4 \times 60} = 16 \text{ куб. м.}$$

При введении норм Кестлина в России (1884 г.), бывшим М. П. С. было указано, что пологими надлежит считать бассейны с уклоном не круче 0,005, и для таковых коэффициент α допускается уменьшать вдвое.

В формуле Кестлина не все факторы, влияющие на величину расхода, учтены; например, не учтено влияние впитывания воды в почву, влияние растительности, не учтено влияние пологости берегов (скатов) оврага; от всех означенных обстоятельств несомненно зависит количество воды, доходящее до искусственного сооружения.

Кроме того, самый ливень, принятый Кестлиным в основание расхода, является вовсе не исключительным; в России (в Павлове) наблюдался ливень, превосходящий по интенсивности ливень по Кестлину в $2\frac{1}{2}$ раза. Кроме интенсивности ливня (т.-е. высоты осадков в единицу времени), для величины расхода важна продолжительность ливня и величина площади бассейна, подверженная наибольшему (расчетному) ливню.

Все упомянутые факторы являются неучтенными, но тем не менее формула Кестлина, как было уже сказано, для средней полосы России дает хорошие результаты; для некоторых же районов, где применение ее давало неправильные результаты, были введены поправки, как например:

а) при постройке Вологда—Архангельской ж. д. нормы Кестлина были уменьшены вдвое;

б) для Западно-Сибирской ж. д.—уменьшены на $\frac{1}{3}$;

в) для Уфа-Златоустовской ж. д.—уменьшены на $\frac{1}{8}$;

г) при постройке второй Екатерининской ж. д. нормы Кестлина были признаны непригодными для того района, где проходила дорога, так как в большинстве случаев получались преуменьшенные результаты, поэтому Управление этой дороги выработало свои нормы с принятием к учету всех факторов, влияющих на величину расхода.

Вообще с переходом к строительству ж. д. на окраинах нормы Кестлина оказались неудовлетворительными, и был возбужден вопрос о пересмотре норм.

Профессором Л. Ф. Николаи была предложена формула:

$$Q = 16 \alpha \beta F (188)$$

где: β —коэффициент, зависящий от уклона лога, а остальные множители имеют те же значения, что и множители форм (187).

Значения коэффициентов α и β указаны в таблицах XL и XLI.

Т а б л и ц а X L.

Коэффициентов α , в зависимости от длины бассейна.

<i>L</i> км.	α	<i>L</i> км.	α	<i>L</i> км.	α
до 0,5	1,000	8,0	0,242	15,5	0,117
1,0	0,927	8,5	0,234	16,0	0,109
1,5	0,848	9,0	0,226	16,5	0,100
2,0	0,771	9,5	0,217	17,0	0,092
2,5	0,691	10,0	0,209	17,5	0,084
3,0	0,614	10,5	0,201	18,0	0,075
3,5	0,537	11,0	0,192	18,5	0,067
4,0	0,483	11,5	0,184		
4,5	0,449	12,0	0,175		
5,0	0,415	12,5	0,167		
5,5	0,381	13,0	0,159		
6,0	0,348	13,5	0,150		
6,5	0,314	14,0	0,142		
7,0	0,280	14,5	0,134		
7,5	0,251	15,0	0,125		

Коэффициентов β , в зависимости от среднего уклона бассейна к формулам Кестлина-Николаи.

i_0	β	i_0	β	i_0	β	Примечание.
0,001	0,188	0,006	0,688	0,020	1,350	При длине бассейна менее 0,5 км. коэффициент долж. быть не менее 0,5.
0,002	0,250	0,007	0,875	0,030	1,400	
0,003	0,313	0,008	1,017	0,040	1,450	
0,004	0,375	0,009	1,158	0,050	1,500	
0,005	0,500	0,010	1,300			

Для определения отверстия, т.-е. при расчете отверстия на ливневые воды необходимы следующие данные:

1. Площадь бассейна — F кв. км.

В тех случаях, когда имеется достаточно подробная карта, площадь бассейна определяется по таковой. Во всех остальных случаях, площадь должна быть определена с'емкой обходом.

2. Длина бассейна — L км.

Длина бассейна определяется по наиболее длинному руслу лога.

3. Уклон лога у сооружения — i .

Уклон лога у сооружения определяется нивелировкой на 200 м. выше и на 100 м. ниже перехода.

4. Продольный уклон бассейна — i_0 .

Продольный уклон бассейна определяется разностью высот у места перехода и у водораздельной точки лога.

5. Живое сечение лога.

6. Род поверхностного грунта русла лога в месте его пересечения.

Род грунта русла водотока у места перехода должен быть определен для выяснения, какую можно допустить под сооружением скорость.

Кроме сего, как и при бассейнах б'ольших 60 кв. км., надлежит собрать сведения относительно плотин выше места перехода и выяснить влияние подпора с низовой стороны моста водами другого водотока, в который данный впадает.

По вышеуказанным бытовым данным определяют расход по формуле Кестлина-Николаи, пользуясь для коэффициентов α и β таблицами.

После того, как определен расход, надо определить горизонт воды, соответствующий найденному расходу, и скорость притекания воды к сооружению.

Для этой цели пользуются эмпирической формулой Шези для определения скорости притекания или т. н. бытовой скорости:

$$v = C\sqrt{Ri} = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1 + \frac{\beta_1}{R}}} \sqrt{Ri} = \\ = \frac{R}{\sqrt{\alpha_1 R + \beta_1}} \sqrt{i} = C' \sqrt{i} \dots (189)$$

Где:

v — средняя скорость всего сечения,

i — уклон воды, принимаемый равным продольному уклону дна водотока,

C и C' — коэффициенты, величины коих видны из формул (189) и (190).

Коэффициент C' принят по формуле Дарси-Базена:

$$C' = \frac{R}{\sqrt{\alpha_1 R + \beta_1}} \dots (190)$$

Коэффициенты α_1 и β_1 имеют следующие значения, причем коэффициент β_1 не зависит от системы мер.

Т а б л и ц а XLII.

Коэффициенты α_1 и β_1 , в зависимости от характера русла к формуле Дарси-Базена.

№	ХАРАКТЕР РУСЛА.	α_1	β_1
1	Очень гладкие стенки (строганные доски, цементная штукатурка).	0,00015	0,0000045
2	Гладкие стенки (нестроганные доски, тесовая кладка, кирпичная кладка).	0,00019	0,0000133
3	Негладкие стенки (напр., бутовая кладка).	0,00024	0,00006
4	Земляные стенки.	0,00028	0,00035
5	Весьма шероховатые стенки (каменистое русло, галька и хрящ).	0,00040	0,00070

Согласно «правил расчета» отверстий малых мостов и безнапорных труб, утвержденных НКПС 16/II—26 г., коэффициент C , по ф. (189), определяется по формуле Базена (1897 г.— новая формула).

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \text{ — для метров (191)}$$

или, по формуле Гангилье и Куттера (1869 г.):

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \text{ — для метров . . (192)}$$

где γ и n — коэффициенты шероховатости русла указаны в таблицах XLIII и XLIV,

i — уклон русла выше сооружения,

R — гидравлический радиус живого сечения при данном горизонте.

При определении скорости течения воды в водотоке русло принимают обыкновенно земляным.

Для простоты расчета составляют таблицы, дающие зависимость значения коэффициента C' от R для выбранного ложа. (Таблица XLV составлена для C' по ф. (190) и для земляного ложа, т.-е. $\alpha_1 = 0,00028$ и $\beta_1 = 0,00035$).

Горизонт воды, соответствующий вычисленному расходу, определяется ошупью, так как определить таковой непосредственно из уравнения $Q = \omega v$ не представляется возможным,

так как и v также зависит от $R = \frac{\omega}{p}$.

Пусть $abcdA_1$ (чер. 78) — поперечное (живое) сечение у сооружения; на живом сечении намечают произвольно горизонт воды (чер. 78). Задавшись горизонтом, определяют наибольшую глубину потока (a), площадь живого сечения и подводный периметр, затем по ф. (189) определяют среднюю скорость притекания.

После этого определяется Q_1 , который равен ωv .

Если Q_1 получится менее расхода Q , определенного по нормам Кестлина-Николаи, то увеличивают горизонт воды. Если же Q_1 получится больше Q , то уменьшают.

Так как для расчета отверстия принимается расход Q , определенный по нормам Кестлина, то при подборе Q_1 , достаточно близком к Q , важно определить горизонт воды, с точностью до 5 см. и, следовательно, та глубина a , кратная от 5 см., которая дает значение Q_1 , наиболее близкое к Q , и будет искомой.

Т а б л и ц а XLIII.

Коэффициентов шероховатости γ , в зависимости от характера русла к новой формуле Базена.

№	РОД ОБДЕЛКИ СТЕНКИ РУСЛА.	Значение для метров.
1	Очень гладкие стенки (строганные доски, гладкая цементная штукатурка и т. д.)	0,06
2	Гладкие стенки (нестроганные доски, тесовая и кирпичная кладка, бетонные и чугунные трубы, весьма хорошая бетонировка и др.).	0,16
3	Негладкие стенки (хорошая бутовая кладка, посредственная бетонировка).	0,46
4	Грубо обделанные стенки (грубая бутовая кладка, весьма грубая бетонировка по скале, замощение булыжником, стенки в плотных земляных грунтах, при том весьма хорошо содержимые, стенки чисто высеченные в скале).	0,85
5	Земляные стенки в обычном состоянии (так же—мощные, но несколько заросшие и т. п.)	1,30
6	Земляные русла (при плохом содержании: значительных водорослях, скалистом с валунами или крупно-галечном дне и пр.)	1,75

Коэффициентов шереховатостей n , в зависимости от характера русла к формуле Гангилие и Куттера.

№	Р О Д С Т Е Н К И .	n	$\frac{1}{n}$
1	Строганные доски, штукатурка из чистого цемента	0,010	100
2	Нестроганные доски, тесовая кладка, весьма хорошая кирпичная кладка, водосточные трубы в нормальных условиях, несколько загрязненные водопроводные трубы . .	0,013	76,9
3	Обыкновенная бутовая кладка в удовлетворительном состоянии, старая кирпичная кладка, грубая бетонировка, гладкая, весьма хорошо разработанная скала . . .	0,017	58,8
4	Очень грубая бутовая кладка, сухая кладка из очень крупных камней, булыжная мостовая, каналы, чисто высеченные в скале. Каналы в лесе, плотном гравии, плотной земле, затянутые илистой пленкой . .	0,020	50,0
5	Большие земляные каналы в средних условиях содержания и ремонта и малые—в хороших. Реки и ручьи в благоприятных условиях (со свободным сечением, без засорения и значительных водорослей) . .	0,025	40,0
6	Каналы и реки в сравнительно плохих условиях (напр., местами с водорослями и булыжником или заметно заросшие травой, с местными обвалами откосов и т. д.) . .	0,030	33,3
7	Каналы и реки, находящиеся в весьма плохих условиях, с неправильным профилем, значительно засоренные камнями и водорослями и пр.	0,035	28,6
8	То же—в исключительно плохих условиях (обломки скалы и крупные камни по руслу, густые корни, значительные промоины и обвалы, заросли камыша)	0,040	25,0

Значения коэффициента C' для земляного лотка.

R	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,00	0,53	1,06	1,59	2,11	2,62	3,13	3,64	4,15	4,65
0,10	5,14	5,64	6,13	6,61	7,10	7,58	8,06	8,53	9,00	9,46
0,20	9,93	10,39	10,84	11,30	11,75	12,20	12,65	13,09	13,53	13,96
0,30	14,40	14,83	15,26	15,69	16,11	16,54	16,96	17,37	17,79	18,20
0,40	18,61	19,02	19,43	19,83	20,23	20,63	21,03	21,42	21,81	22,20
0,50	22,58	22,98	23,36	23,74	24,12	24,50	24,88	25,25	25,62	25,99
0,60	26,36	26,73	27,09	27,46	27,82	28,18	28,54	28,90	29,25	29,61
0,70	29,96	30,31	30,66	31,00	31,35	31,70	32,04	32,38	32,71	33,05
0,80	33,39	33,73	34,06	34,39	34,72	35,05	35,38	35,71	36,04	36,36
0,90	36,68	37,00	37,32	37,64	37,96	38,28	38,60	38,91	39,22	39,53
1,00	39,84	40,15	40,46	40,77	41,07	41,38	41,68	41,98	42,28	42,58
1,10	42,88	43,18	43,48	43,78	44,07	44,36	44,65	44,95	45,24	45,53
1,20	45,82	46,11	46,39	46,68	46,96	47,25	47,53	47,81	48,09	48,37
1,30	48,65	48,93	49,21	49,48	49,76	50,03	50,31	50,58	50,85	51,12
1,40	51,40	51,67	51,94	52,20	52,47	52,74	53,01	53,27	53,53	53,79
1,50	54,06	54,32	54,58	54,84	55,10	55,36	55,62	55,87	56,13	56,39
1,60	56,64	56,89	57,15	57,40	57,65	57,90	58,15	58,40	58,64	58,89
1,70	59,15	59,40	59,65	59,90	60,14	60,38	60,63	60,87	61,11	61,35
1,80	61,60	61,84	62,08	62,32	62,56	62,80	63,03	63,27	63,49	63,73
1,90	63,96	64,21	64,45	64,68	64,91	65,15	65,38	65,61	65,82	66,06
2,00	66,30	66,53	66,76	66,99	67,21	67,44	67,65	67,89	68,12	68,35
2,10	68,57	68,79	69,02	69,24	69,46	69,68	69,90	70,12	70,35	70,56
2,20	70,78	71,00	71,22	71,44	71,66	71,87	72,09	72,31	72,52	72,73
2,30	72,95	73,17	73,38	73,59	73,81	74,02	74,23	74,44	74,66	74,83
2,40	75,07	75,28	75,49	75,70	75,91	76,12	76,33	76,53	76,73	76,94
2,50	77,15	77,36	77,56	77,77	77,97	78,18	78,38	78,58	78,78	78,98
2,60	79,19	79,39	79,59	79,79	79,99	80,19	80,39	80,59	80,79	80,99
2,70	81,19	81,38	81,58	81,78	81,98	82,17	82,37	82,56	82,75	82,95
2,80	83,15	83,34	83,54	83,73	83,92	84,12	84,31	84,50	84,71	84,89
2,90	85,07	85,26	85,45	85,64	85,83	86,02	86,21	86,41	86,61	86,79
3,00	86,97	—	—	—	—	—	—	—	—	—

§ 28. Определение отверстий малых мостов и труб.

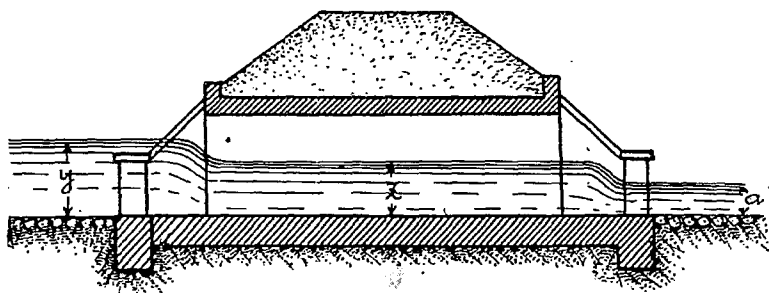
При проектировании малых мостов и труб обычно, по экономическим соображениям, отверстия их устанавливаются менее ширины водотока в несуженном состоянии. Это возможно делать потому, что при расчете отверстий внутри сооружения допускают скорости, большие бытовых, в виду возможности укрепления русла водотока; следствием увеличения скорости является подпор.

Так как стеснение естественного сечения русла искусственным сооружением влечет за собой увеличение скорости и образование подпора, то уменьшать отверстие возможно только до известных пределов.

Прежде отверстие мостов под один путь рассчитывалось по формуле Дюбуа, считая, что течение воды под однопутным мостом тождественно с протеканием воды через водослив в тонкой стенке, а отверстие мостов под два или несколько путей и отверстие каменных труб рассчитывалось по так называемой форм. Бресса, считая протекание воды через эти искусственные сооружения тождественным с протеканием воды через водослив в толстой стенке.

Согласно правилам расчета отверстий, такого различия не делают и производят расчет малых мостов и безнапорных труб, полагая, что течение воды в них совершается, как через водослив с широкими стенками, за которыми следует канал шириною, равную ширине отверстия в стенке и с дном, расположенным на той же высоте, как и порог водослива.

При проходе ливневых вод, вследствие стеснения естественного потока сооружением, перед последним образуется подпор и глубина воды увеличивается до некоторой величины y , вследствие чего скорость внутри сооружения увеличивается до v_0 , а горизонт воды уменьшается до z , образуя перепад за сооружением. Скорость течения уменьшается, и вода на некотором расстоянии от сооружения начинает течь в естественных условиях (чер. 85).



Чер. 85.

Обозначим:

Q — расход (наибольший) ливневых вод, определенный по формуле Кестлина-Николаи,

ω — площадь живого сечения водотока,
 x — величина отверстия искусственного сооружения (в предположении, что отверстие прямоугольно),
 μ — коэффициент сжатия,
 v_0 — скорость течения, допущенная в сооружении, в соответствии с родом укрепления грунта,
 z — глубина потока в пределах сооружения,
 k — подпор, эквивалентный влиянию скорости притекания v воды.

$$k \text{ к сооружению } \left(k = \frac{v^2}{2g} \right),$$

g — ускорение силы тяжести,
 y — полная глубина подпертого потока перед сооружением,
 v — средняя скорость притекания.

Считая движение воды внутри сооружения за перепадом установившимся, выразим расход воды водотока ниже перепада в виде:

$$Q = \mu \omega v_0 = \mu x z v_0.$$

Применяя закон живых сил (приращение живых сил равно работе всех сил) для любой частицы воды с массой m , протекающей с высоты y до высоты z , имеем:

$$\frac{m v_0^2}{2} - \frac{m v^2}{2} = m g (y - z),$$

откуда:

$$\begin{aligned}
 \text{и } v_0^2 &= 2g(y - z) + v^2 = 2g \left(y - z + \frac{v^2}{2g} \right) = 2g(y - z + k); \\
 v_0 &= \sqrt{2g(y - z + k)}.
 \end{aligned}$$

Подставляя в выражение расхода найденное значение v_0 , получим:

$$Q = \mu x z v_0 = \mu x z \sqrt{2g(y - z + k)}.$$

Найдем такое значение z , при котором между y и z устанавливается соотношение; дающее наибольшую величину расхода. Искомая величина z должна обратиться в максимум выражение для Q или, что все равно, функцию:

$$F = \frac{Q^2}{2g \mu^2 x^2} = z^2 (y - z + k)$$

$$\frac{dF}{dz} = z(2y - 3z + 2k) = 0.$$

Отсюда наибольший расход получится при:

$$z = \frac{2}{3}(y + k).$$

Величина скорости в сооружении при этом значении z будет:

$$v_0 = \sqrt{2g(y - z + k)} = \sqrt{2g \frac{y+k}{3}} = \sqrt{gz}.$$

Из последнего выражения находим y и z :

$$z = \frac{v_0^2}{g};$$

$$y = \frac{3}{2}z - k = \frac{3v_0^2 - v^2}{2g}.$$

Подставляя y и z в выражение расхода, получим:

$$Q = \mu x z v_0 = \mu x \frac{v_0^2}{g} v_0 = \mu x \frac{v_0^3}{g}.$$

Откуда и определяется величина отверстия:

$$x = \frac{gQ}{\mu v_0^3}.$$

На основании изложенного, расчет отверстий малых мостов и безнапорных труб производится по следующим общим формулам:

$$x = \frac{gQ}{\mu v_0^3} \quad (193); \quad z = \frac{v_0^2}{g} \quad (194) \quad \text{и} \quad y = \frac{3v_0^2}{2g} - k = 1,5z - k \quad (195).$$

Значение букв, входящих в данные формулы, указано при их выводе.

μ — коэффициент сжатия принимается:

1. Для мостов с конусами и труб, независимо от их очертания, с расходящимися откосными крыльями . . . 0,90
2. Для мостов без конусов и труб, независимо от их очертания, без расходящихся откосных крыльев, а также для труб, срезанных в плоскости откоса насыпи . . . 0,80
3. Для труб с выпущенными из тела насыпи концами, а также для арочных мостов с затопленными пятнами . . . 0,75

Подставляя в общую формулу выражения отверстия значение коэффициентов μ и $g = 9,81$ м/сек., получим:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{При } \mu = 0,90 \\
 x = 10,9 \frac{Q}{v_0^3} \text{ м.} \\
 \text{При } \mu = 0,80 \\
 x = 12,3 \frac{Q}{v_0^3} \text{ м.} \\
 \text{При } \mu = 0,75 \\
 x = 13,1 \frac{Q}{v_0^3} \text{ м.}
 \end{array} \right\} \dots \dots (196)$$

Подпор y , высота протекания воды внутри сооружения z , для всех случаев μ находятся по следующим формулам:

$$y = 1,5z - k; \quad z = \frac{v_0^2}{9,81} = 0,102 v_0^2 \dots \dots (197)$$

Указанные формулы применимы только в случае незатопленного водослива, имеющего место при $y > a$.

В формулы, служащие для вычисления отверстия сооружения, входит средняя скорость внутри сооружения, а эта скорость, в свою очередь, зависит от принятого отверстия, потому, чтобы решить уравнение, надлежит знать или v_0 или x .

Обыкновенно задаются средней скоростью v_0 в сооружении, в зависимости от допустимой скорости по дну при принятом укреплении.

При определении средней скорости всего живого сечения под искусственным сооружением (v_0), в зависимости от скорости, допущенной по дну (w), надлежит пользоваться нижеследующей эмпирической формулой:

$$v_0 = 0,75 w - 0,40 + 0,50 \sqrt{\left(\frac{w - 1,59}{2}\right)^2 + 3,15 w} \dots \dots (198)$$

Допускаемая скорость по дну различных укреплений дна труб и малых мостов, а также грунтов для подхода русел и канав, а также вычисленные по вышеприведенной формуле, соответствующие им средние скорости, приведены в нижеследующей таблице XLVI *).

*) Таблицы XLIII, XLIV и XLVI взяты из правил расчета отверстий малых мостов и без напорных труб, утвержденных 16 февраля 1925 г. Народным Комиссаром П. С.

Т а б л и ц а X L V I.

№№	Р О Д Г Р У Н Т А.	Скорости м/сек.	
		Допускаем. по дну— w	Средн. ра- счетная— v_0
1	Илистый грунт	0,10	0,15
2	Мелкий песок	0,25	0,35
3	Крупный песок, лес и одиночная дер- новка плашмя.	0,60	0,80
4	Глинистый грунт средней плотности (суглинок, супесок)	0,40—0,75	0,55—0,95
5	Гравий и мелкая галька (до 2,5 см.) . .	1,00	1,25
6	Хрящеватый грунт, галька крупная . .	1,20	1,50
7	Плотная твердая глина, дерновка в стенку.	1,50	1,80
8	Каменистый грунт, одиноч. мостовая .	2,15	2,50
9	Скалистый грунт, двойная мостовая .	3,10	3,50
10	Кирпичная кладка из железняка на це- ментном растворе	4,00	4,50
11	Лоток из бутовой, бетонной кладки, плетневые ящики с заполнением круп- ных камней.	4,50	5,00
12	Деревянный лоток.	6,00	6,60

Зная расход, определенный по формуле Кестлина-Николаи, задаются родом укрепления дна, а по нему находят среднюю скорость в сооружении, а затем, по одной из вышеприведенных формул (196), в зависимости от устройства входов (μ), определяют отверстие.

Полученную по расчету величину отверстия x округляют до ближайшего целого числа метров, если не имеется других установленных норм. Возможно допустить округление и до ближайшего меньшего целого числа метров, если потребное усиление типа укрепления лотка или некоторое увеличение высоты сооружения оправдывается экономией в стоимости сооружения.

Имея окончательно установленное отверстие x сооружения и подставляя его в формулу определения отверстия, обратным путем (по отверстию) определяем наибольшую возможную скорость в сооружении.

Затем, зная v_0' , находят подпор (y) и глубину протекания воды внутри сооружения (z) и если $y > a$, то применение:

вышеуказанных формул допустимо, в противном случае расчет производится согласно нижеследующего.

Когда $y < a$, то при расчете полагают, что высота воды в пределах сооружения равна глубине нестесненного потока, т.-е. $z = a$, и расчет отверстия производится, как в случае $y > a$, но только по следующей формуле:

$$x = \frac{Q}{\mu a v_0} ; z = a ; y = \frac{v_0^2}{2g} + a - \text{к. . .} \quad (199)$$

При выводе формул предполагалось, что стенки труб вертикальны, т.-е. принимается, что свод начинается выше уровня воды.

При расчете же отверстий искусственных сооружений, живое сечение которых (в пределах сооружения) не имеет прямоугольной формы (например, трубы овальных, параболических, трапециодальных, треугольных сечений, мосты с наклонными стенками), надо иметь в виду, что пропускная способность их другая, нежели с прямоугольными стенками, поэтому и расчетный расход их надо изменить, умножив на коэффициент α_0 .

Коэффициент α_0 находится, как отношение при данной глубине и одинаковых отверстиях площади прямоугольного живого сечения под сооружением к действительной—принятой.

Можно производить расчет по расчетному расходу, полученному по формуле Кестлина-Николаи, и полученное отверстие изменить так, чтобы действительная площадь отверстия при данном горизонте не была меньше площади прямоугольного сечения при той же высоте.

Для параболических труб коэффициент α_0 принимается равным 1,25. Если типы труб ко времени расчета отверстий разработаны, то весьма важно в типах труб указывать коэффициент α_0 для разных глубин, т.-е. отношение произведения глубины на отверстие к действительной площади, соответствующей разным глубинам.

Отверстие деревянного свайного моста, с ограничивающими русло конусами, создающими сечение трапециодальной формы, считая таковое по дну, определяется по следующей формуле:

$$b = x - fz + cn ,$$

где: b — величина отверстия, считаемого по дну,

x — величина отверстия, полученного расчетом (в предположении прямоугольного сечения),

z — глубина воды внутри сооружения,

f — крутизна откоса (1,5 или 1,25),

c — толщина свай, попадающих в живое сечение,

n — число попер. рядов свай, попадающих в живое сечение.

Определив отверстие искусственного сооружения, подпор и глубину протекания внутри сооружения, смотрят, не происходит ли подтопление местности при допускаемом подпоре; в случае подтопления надо путем увеличения отверстия уменьшить подпор, а затем производят поверку достаточности данной высоты насыпи. При этом надлежит руководствоваться нижеследующими требованиями технических условий.

1. Бровка насыпи земляного полотна должна возвышаться над подпорным горизонтом не менее, чем на 1,00 м.

2. Низ ферм балочных мостов должен возвышаться над подпорным горизонтом не менее 0,75 м., а от верхней поверхности подферменного камня (или подферменной площадки, если подферменного камня не имеется) до того же подпорного горизонта — не менее 0,5 м.

В мостах арочной системы и в деревянных подкосных мостах подтопление пят и подкосов, как правило, не допускается.

3. Отверстия труб должны быть достаточны для того, чтобы вода при наивысшем своем уровне не доходила на 0,25 м. до пят свода, если свод кирпичный; при сводах из иного материала вода не должна занимать более $\frac{3}{4}$ полной высоты трубы, считая от лотка до нижней поверхности ключа свода, при чем в сводах с подъемом более $\frac{1}{4}$ возвышение ключа свода над горизонтом высоких вод должно быть не менее 0,75 м., а при меньших под'емах — не менее 0,50 м. Отверстия каменных, бетонных и железобетонных труб должно быть не менее 1,00 м.

4. Общая толщина земляной засыпки и балласта над наружной поверхностью свода до подошвы рельс должна быть не менее 1,2 м.

При соблюдении особо установленных на сей предмет более строгих, условий расчета труб, высоту балластного слоя в ключе свода до подошвы рельсов можно допускать для каменных труб не менее 0,70 м., для бетонных—0,60 м. и для железобетонных—0,50 м.

При назначении труб надо иметь в виду, что на протяжении большей части трубы, где движение воды установилось,

высота воды z менее высоты подпертого горизонта y . Переход от подпертой глубины воды y к глубине воды внутри сооружения, перепад занимает от 2—5 м. по длине трубы. В виду изложенного при длинных трубах входную часть (звено) трубы на протяжении перепада делают повышенной, а на остальном протяжении, в целях экономии кладки, трубу делают соответственно высоте z . Длина повышенной входного звена должна быть не менее перепада, определяемого по формуле:

$$S = \frac{y}{0,90}.$$

Из изложенного вытекает, что для получения наименьшей высоты насыпи H , при которой возможно устройство моста данного отверстия (x) при данном подпертом горизонте (y), надо: к глубине подпертого горизонта (y) прибавить 0,75 м. до низа фермы и высоту h соответствующую расстоянию от низа фермы до бровки полотна:

$$H = y + 0,75 + h.$$

Если действительная высота менее H , то надо либо увеличить отверстие моста и понизить (y), либо увеличить высоту насыпи.

Наименьшая высота насыпи для труб с повышенным звеном определяется из условия, чтобы это звено было расположено вне пределов распространения подвижной нагрузки по длине трубы при угле этого распространения в 30° к вертикали.

Для обеспечения расчетной величины скорости водного потока в пределах сооружения, дну ее должен быть придан уклон, величина коего определяется по формуле:

$$i = \frac{v^2}{C^2 R},$$

$$\text{где } C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad (\text{по Базену})$$

$$23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i}$$

или $C = \frac{\quad}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$ (по Гангилье-Куттеру).

$$1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}$$

Значение коэффициентов указано было ранее.

Иногда средняя скорость потока в естественном его состоянии (v) больше наибольшей средней скорости, допускаемой в пределах сооружения (v_0) при каменном лотке, т.е.—5,0 м. Эти случаи бывают в крутых оврагах с каменным ложем. Такие пересечения обыкновенно не рассчитываются и перекрываются искусственным сооружением без стеснения русла.

Иногда, в случае, если v более скорости v_0 , искусственно изменяют условия подхода водотока к сооружению, устраивая для уменьшения скорости водобойные колодцы, или устраивают при подходе уступы в дне водотока для уменьшения скорости.

Последний способ обыкновенно практикуется в случае размываемости грунта под мостом в естественных условиях протекания.

При широких и неглубоких водотоках, с незначительной скоростью течения, отверстие моста получается значительной величины; в этом случае надлежит устраивать искусственное русло. Благодаря изменению соотношения между ω и R в искусственном русле, получается увеличение скорости протекания и создаются более благоприятные для расчета отверстия условия.

При расчетах отверстий искусственных сооружений для облегчения пользуются таблицами, составленными по приведенным формулам при условии $y > a$. В таблицах приводятся Q , y и z , в зависимости от отверстия и средней скорости в сооружении.

В качестве примера приводим таблицу для $\mu = 0,90$, т.е. для мостов с конусами и труб, независимо от их очертания с расходящимися откосными крыльями.

Принимая в запас, что скорость подхода $v = 0$, а следовательно, и $k = \frac{v^2}{2g} = 0$, при $\mu = 0,90$, получим нижеследующие

формулы для расчета таблицы, при $y > a$:

$$x = \frac{9,81 Q}{0,90 \times v_0^3} = 10,9 \frac{Q}{v_0^3}$$

$$\text{или } Q = 0,0918 v_0^3 x \text{ куб. м.}$$

$$z = \frac{v_0^2}{g} = 0,102 v_0^2; \quad y = 1,5 \quad z = 0,153 v_0^2.$$

Т а б л и ц а XLVII.

Средняя скорость в сооружении v_0 м/сек.	Глубина воды в метрах.		Наибольший расход в куб. м. в сек. при ширине отверстия x метр.								Род укрепления.
	Внутри сооружения z	Подпор y	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	6,50	
0,50 1,00 1,50 1,75	0,025 0,102 0,230 0,313	0,038 0,153 0,345 0,470	0,011 0,096 0,310 0,492	0,017 0,138 0,465 0,738	0,020 0,184 0,620 0,984	0,034 0,275 0,928 1,476	0,046 0,367 1,239 1,968	0,057 0,459 1,549 2,460	0,069 0,551 1,859 2,952	0,075 0,597 2,014 3,198	Естественное или дерновое русло.
2,00 2,25 2,50	0,408 0,517 0,638	0,612 0,776 0,957	0,735 1,046 1,330	1,102 1,568 2,069	1,469 2,091 2,759	2,203 3,137 4,138	2,938 4,182 5,517	3,672 5,228 6,896	4,406 6,274 8,276	4,774 6,796 8,966	Одиночная мостовая.
2,75 3,00 3,25 3,50	0,772 0,918 1,078 1,250	1,158 1,377 1,617 1,875	1,910 2,479 3,151 3,936	2,864 3,718 4,727 5,904	3,819 4,957 6,303 7,872	5,728 7,436 9,454 11,808	7,638 9,914 12,605 15,744	9,547 12,393 15,757 19,680	11,457 14,372 18,908 23,616	12,412 16,111 20,484 25,584	Двойная мостовая.
3,75 4,00 4,25 4,50 5,00	1,435 1,632 1,843 2,066 2,550	2,153 2,448 2,765 3,099 3,825	4,841 5,875 7,047 9,295 11,475	7,262 8,813 10,571 13,942 17,212	9,682 11,750 14,094 18,590 22,950	14,523 17,626 21,141 27,884 34,425	19,364 23,501 28,188 37,179 45,900	24,205 29,376 35,236 46,474 51,637	29,046 35,251 42,283 55,767 68,850	31,467 38,189 45,806 60,416 74,587	Каменный лоток.

Задаваясь родом укрепления и зная расход, прямо по таблице можно определить отверстие трубы и соответствующие отверстию z и y .

При большом числе подлежащих расчету искусственных сооружений можно пользоваться следующим графическим методом.

$$\text{Расход } Q = 16\alpha\beta F \dots \dots \dots (200)$$

С другой стороны, имеем зависимость между этим расходом и отверстием и допущенной, в зависимости от рода укрепления, скоростью:

$$Q = \frac{\mu}{g} v_0^3 x \dots \dots \dots (201)$$

где: v_0 —расчетная скорость, зависящая от рода укрепления русла под мостом; скорость эта принята ¹⁾: для одиночной мостовой 2,35 м/сек., для двойной мостовой 3,45 м/сек. и для каменного лотка 5 м/сек.; при допускаемых скоростях w по дну в 2, 3 и 4,5 м/сек.; приведенные здесь скорости v_0 получены из скоростей w по ур. (198).

Сравнивая ур. (200) и (201), мы видим, что графическое определение величины отверстия x сводится к следующим построениям в двух углах системы координат (чер. 86).

В левой части откладываем в определенном масштабе площади F до 60 кв. км., предельной площади бассейна, установленной для расчета по ливневым водам; масштаб принят в 1 см., площадь—в 2,5 кв. км. Наклонные линии представляют произведение $16\alpha\beta$, при чем для определения величины Q надо лишь умножить α на β , а коэффициент 16 уже учтен. Ордината дает величину Q .

Например, для $F = 20$ кв. км. и $\alpha\beta = 0,25$; проводим ординату из $F = 20$ до пересечения с $\alpha\beta$ в 0,25; линия, проведенная параллельно оси абсцисс, дает расход Q в 80 куб. м.

Действительно:

$$Q = 20 \times 16 \times 0,25 = 80 \text{ куб. м.}$$

Масштаб для Q в 1 см. принят в 10 куб. м. В правой части построены для трех значений v_0 , величины $\frac{\mu v_0^3}{g}$;

$\frac{\mu v_0^3}{g}$	будет равно для	$v_0 = 2,35$ м.	—	1,193	м ³
»	»	»	»	»	= 3,45 м. — 3,767 »
»	»	»	»	»	= 5,00 м. — 11,47 »

¹⁾ Согласно таблицы XLVI, v_0 равны соответственно 2,5, 3,5 и 5,0.

Откладывая эти величины в конце правой части координатной системы для $x = 20$ м., увеличенным в 20 раз, получим наклонные линии для трех значений v_0 ; по оси абсцисс справа отложены величины отверстий в масштабе 1 метр в 1 см.

Пересечение для предшествующего примера горизонтальной линии, проведенной из B , с наклонной линией для $v_0 = 5,0$ м/сек. даст точку C , и проводя ординату CD , получим величину отверстия трубы (или моста) при укреплении каменной кладкой.

Для $F = 5$ кв. км. и $\alpha\beta = 0,5$ получим прямоугольник $A_1B_1C_1D_1$, дающий при укреплении каменным лотком отверстие в точке D_1 в 3,4 м. или с округлением в 4 м.; если лоток укреплен двойной мостовой, то величина отверстия определяется прямоугольником $A_1B_1C_2D_2$, и точка D_2 дает отверстие между 10 и 11 м. и округленно—в 11 м.

Совершенно ясно, что если бы мы имели разные значения v_0 для разного рода грунтов и для других родов укреплений, то мы могли бы в правой части провести прямые, соответствующие значениям v_0 .

Из чер. 86 совершенно ясно, что при принятом способе построения величина Q , входящая в ур. (200) и (201), является ординатой, определяемой попутно ¹⁾.

Правая часть, дающая возможность сравнивать величину отверстий при разных способах укрепления, может быть опущена и весь расчет сосредоточен в левой части; последнее вполне целесообразно, если во всех искусственных сооружениях принят один способ укрепления лотка.

Принимая, например, что для отверстий до 6 метров мы устраиваем каменный лоток, делаем следующие построения: из точек пересечения (в правом угле координатной системы) величин $X = 1, 2, 3, 4, 5$ и 6 с линией $v_0 = 5$ м/сек. проводим линии в левую сторону, тогда линии $1k, 2k, 3k$ и т. д. $6k$ представят расходы, пропускаемые отверстиями в 1, 2 и т. д. 6 м., укрепленными каменной кладкой.

¹⁾ Аналогичное графическое построение для решения тормазных задач, где тормазной коэффициент ϕ в построении располагается так же, как в данном случае Q , приведено в № 12 журнала «Железнодорожное дело» за 1925 г., в статье моей «Тормазные задачи и графическое их решение».

Пересечение ординаты, проведенной в левой части для соответственного значения F' с соответственной линией $\alpha\beta$ определит отверстие моста. Пусть $F' = 30$ и $\alpha\beta = 0,05$, точка пересечения A' расположена между линиями 2 и 3, т.е. отверстие с округлением должно быть в 3 м.

Если применяются разные укрепления, то левая часть получится очень пестрой и возможны ошибки, поэтому при разных способах укрепления надо либо применять и правую сторону чер. 86, либо иметь отдельные чертежи, подобные изображенной в левой части, для каждого рода укрепления.

С своей стороны считаем более целесообразным иметь в этом случае правую часть по чер. 86, при помощи коей возможно сравнивать очень наглядно величины отверстий, получающихся при разных способах укреплений.

Перейдем теперь к рассмотрению глубины потока перед искусственным сооружением и в искусственном сооружении (в трубе или под мостом). Выше найдено:

$$y = \frac{3v_0^2 - v^2}{2g} = \frac{3v_0^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} \dots \dots (202)$$

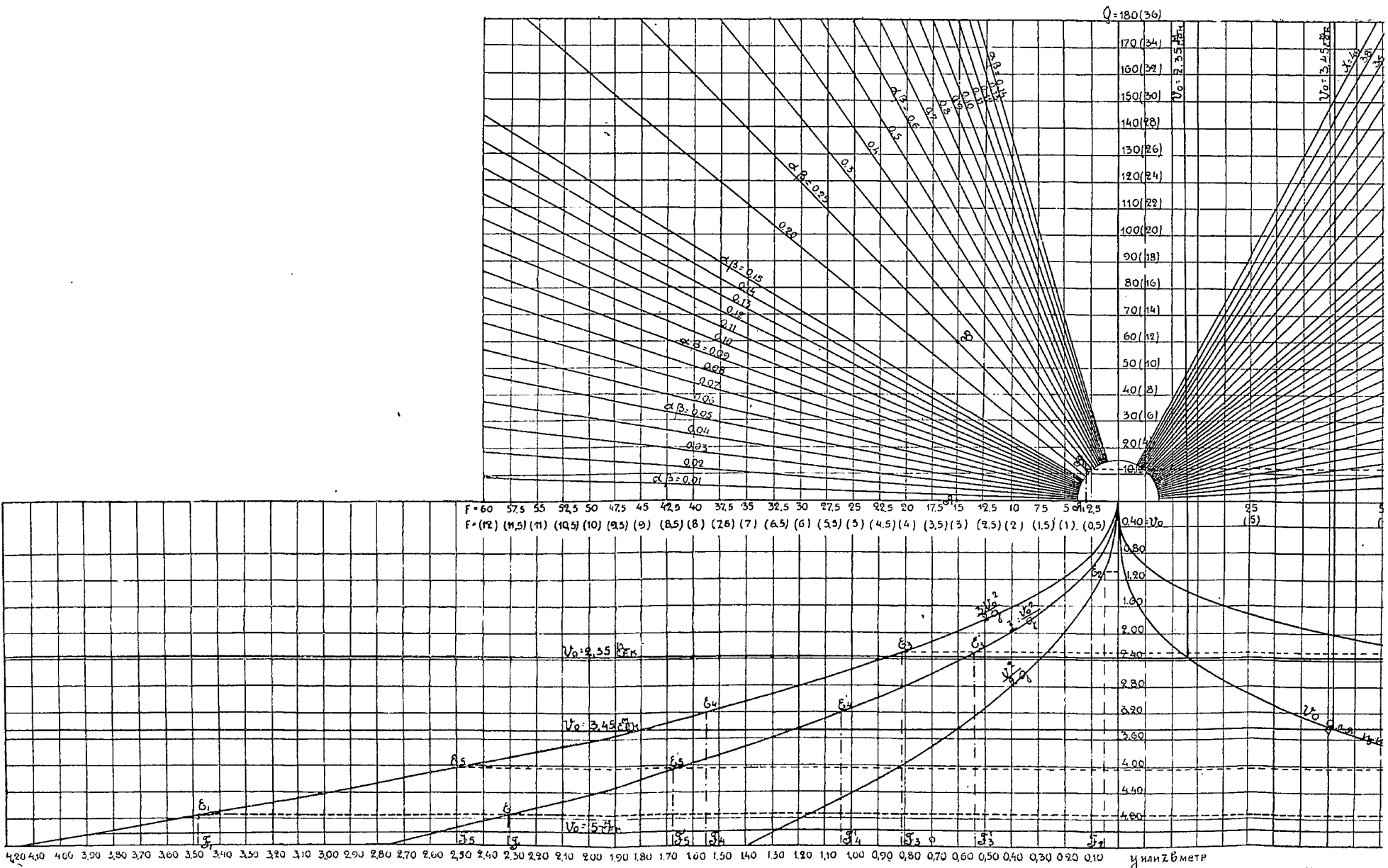
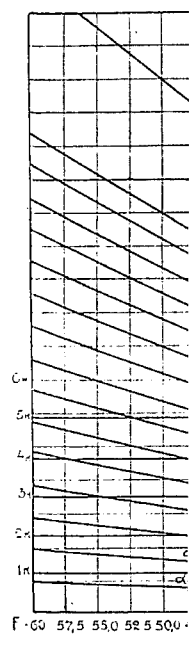
$$z = \frac{v_0^2}{g} = 2 \frac{v_0^2}{2g} \dots \dots \dots (203)$$

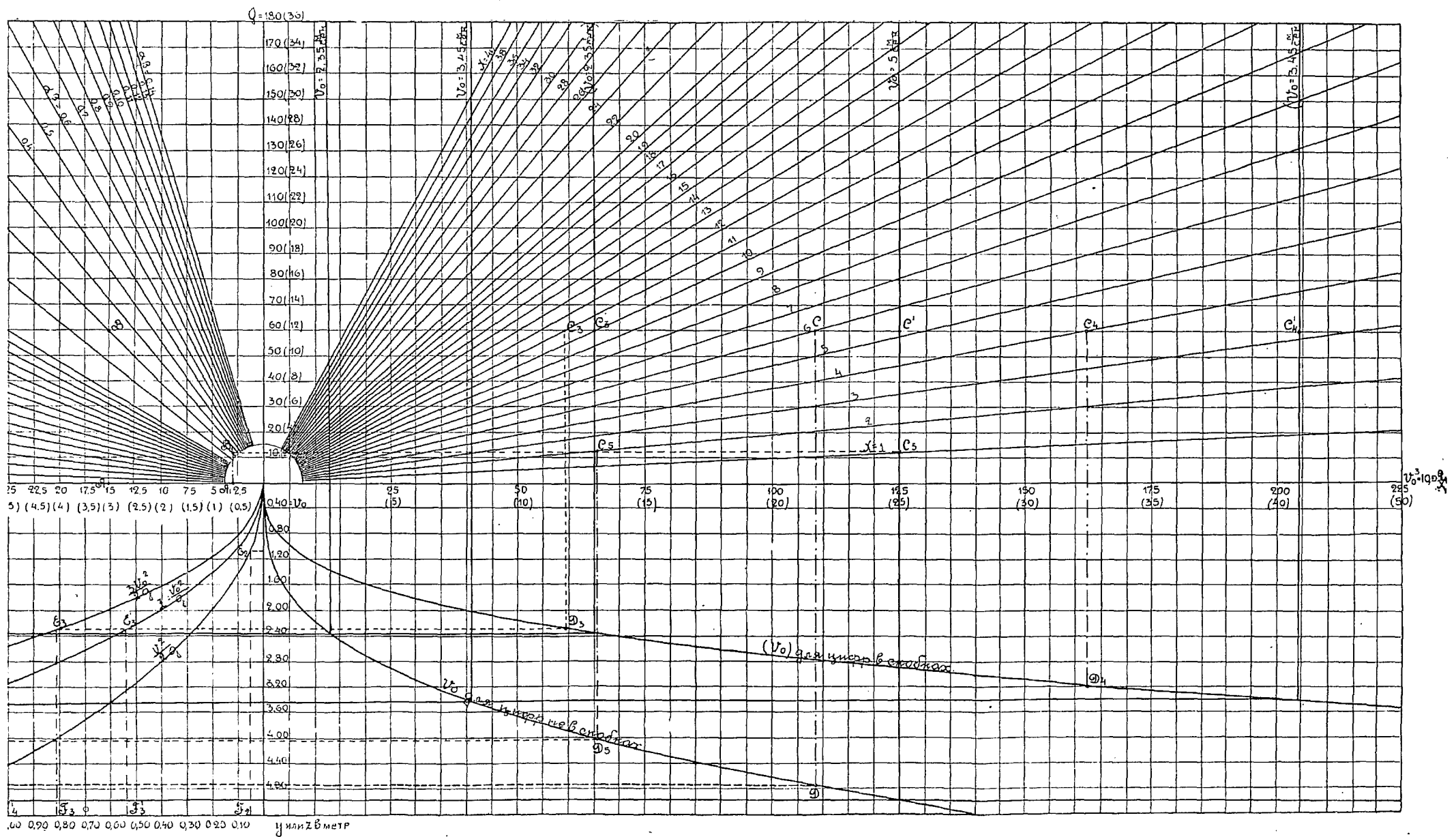
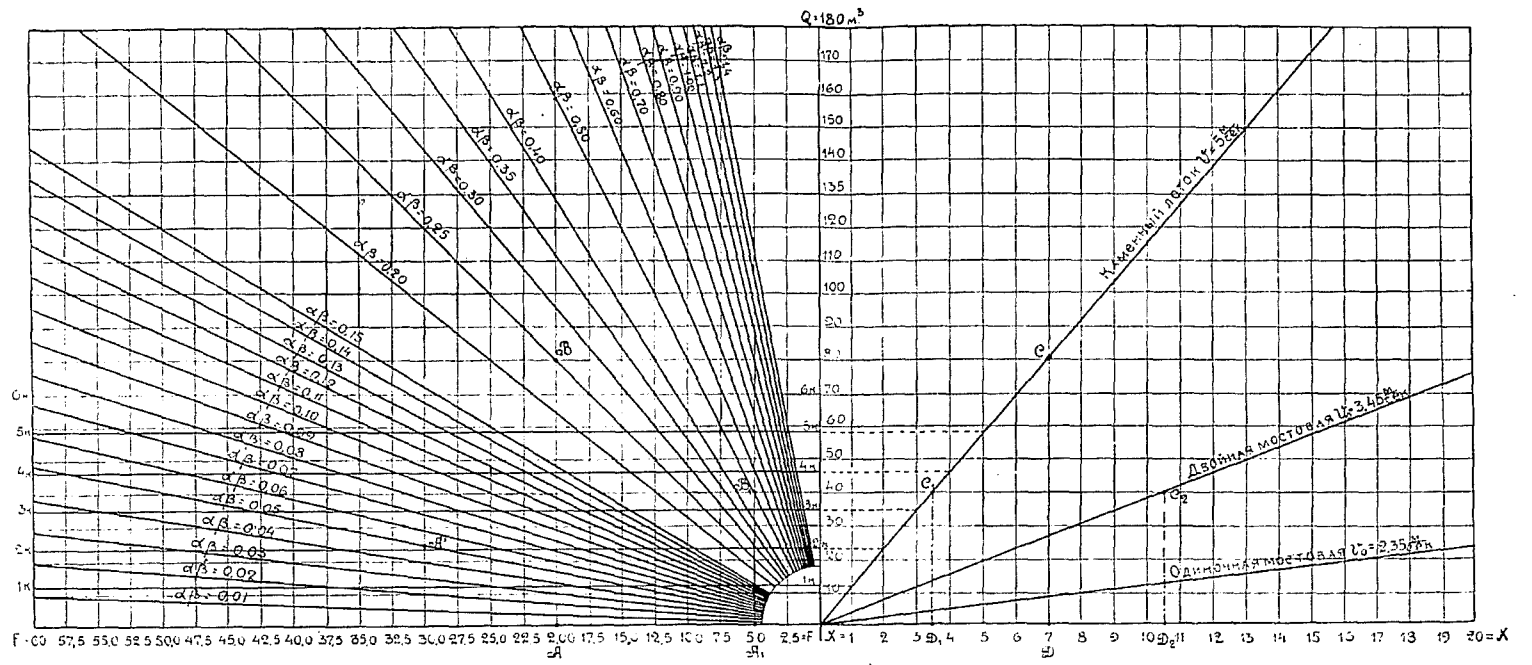
Таким образом, глубина воды перед сооружением представляет разницу между утроенным значением высоты скорости для v_0 и высотой для скорости подхода; глубина воды в сооружении равна двойной высоте для скорости v_0 .

Из чер. 86 видно, что отверстия получаются промежуточных значений, и мы их округляем до целых метров; при этом v_0 уже не будет равно принятому значению, соответственно роду укрепления, а будет меньше; соответственно будут меньше y и z по сравнению с величинами, определенными по ур. (202) и (203) по заданным значениям v_0 .

Таким образом, графическое построение должно быть продолжено и оно должно дать возможность определить по данному отверстию в целых метрах действительную скорость v_0' и соответственные этой скорости величины y и z .

Графическое решение вопроса сделано в четырех углах координатной системы (чер. 87):





В левой части изображена левая часть чер. 86, где цифры не в скобках для F и Q соответствуют друг другу; цифры в скобках соответствуют масштабу, увеличенному в пять раз.

Из ур. (201) имеем:

$$Q = \mu x \frac{v_0^3}{g} \text{ и } \frac{Q}{x} = \mu \frac{v_0^3}{g} \text{ и далее, при } \mu = 0,9$$

$$v_0^3 = \frac{g}{\mu} \frac{Q}{x} = 10,9 \frac{Q}{x} \dots \dots \dots (204)$$

Если возьмем $Q = 180 \text{ м}^3$, то для разных значений x получим v_0^3 , значения которых откладываем по абсциссам правого верхнего угла системы координат.

Для $Q = 180$ и $x = 40$ имеем $v_0^3 = \frac{10,9 \times 180}{40} = \frac{1962}{40} = 49,05$

» $Q = 180$ и $x = 20$ » $= 98,10$ и т. д.

Величины $\frac{10,9Q}{x}$ отложены по оси абсцисс в правой стороне; таким образом, получаем прямые $x = 1, 2$ и т. д. до 40 м., представляющие величины v_0^3 . Цифры не в скобках соответствуют значениям Q не в скобках, а цифры в скобках значениям Q в скобках.

Принимая во внимание, что абсциссы $\frac{10,9Q}{x}$ представляют v_0^3 , можно построить кривую v_0 для этих абсцисс; необходимо только установить масштаб для v_0 . Таковой принят (ординаты третьего угла) для v_0 : 1 см. = 0,40 м/сек.

Кривые v_0 для цифр не в скобках и для цифр в скобках построены при одном и том же масштабе для v_0 .

Ординаты представляют собой корни кубические из величин абсцисс; так например, для абсциссы 25 ордината равна 2,92, а для абсциссы 5 (цифра в скобках) ордината равна 1,71 м. Таким образом, построены две кривые v_0 в третьем угле, правом внизу, системы координат.

Проведя три горизонтальные линии $v_0 = 2,35 \text{ м.}$, $v_0 = 3,45 \text{ м.}$ и $v_0 = 5,00 \text{ м.}$ до пересечения с кривой v_0 для цифр не в скобках и проведя ординаты во вторую четверть, получим

в пересечении с линиями x величины расходов, которые могут быть пропущены трубами разных отверстий при указанных выше трех родах укрепления русла.

В четвертой четверти построены для значения v_0 и v величины y и z по ур. (202) и (203), при масштабе для упомянутых величин, выраженных в метрах в 1 см. длины 0,1 м., т.-е. в одну десятую.

На основании сделанных построений вопрос о величине отверстия, величины y и z решаются следующим образом:

Пусть площадь бассейна равна 15 кв. м. и $\alpha\beta = 0,25$ м., тогда, проводя из точки пересечения линии параллельную оси абсцисс, получаем $Q = 60$ куб. м. и точку пересечения C' этой линии с линией, соответствующей скорости $v_0 = 5,0$ м/сек. при укреплении русла каменной кладкой. Точка C' расположена между линиями отверстий в 5 м. и 6 м.; если бы мы не округляли отверстия до 6 м., то величины y и z определялись бы для $v_0 = 5,00$ м/сек. из ур. (202) и (203).

Берем отверстие в 6 м. и из точки пересечения C линии BC' с линией $X = 6$, проводим линию CD до встречи с кривой v_0 в третьей четверти; из точки D проводим линию, параллельную оси абсцисс в четвертую четверть. Точки пересечения этой линии с кривыми $\frac{3v_0^2}{2g}$ и $z = \frac{v_0^2}{g}$ дают точки E_1 и E и высоты 3,48 и 2,32 м. в точках F_1 и F , соответствующие действительной скорости v_0' . Из высоты 3,48 м. остается вычесть высоту, соответствующую скорости притекания; пусть таковая равна 1 м., тогда $\frac{v^2}{2g}$ равно 0,05 (см. построение в четвертой четверти), и величина y равна $3,48 - 0,05 = 3,43$ м. или выразится длиной $F_1 F_2$.

Таким образом, все построение сводится к проведению линии $ABCDEF$ и $ABCDE_1F_1$, определению точки F_2 , соответствующей высоте скорости притекания; точка F_1 , считая от начала координат, определит величину z , а длина $F_1 F_2$ определит величину y .

Принятый масштаб дает вполне удовлетворительные данные для $v_0 = 5,0$ м/сек., однако, для $v_0 = 2,35$ м./сек. и отчасти для $v_0 = 3,45$ м/сек. масштаб получается мелким, поэтому цифры в скобках дают возможность определять отверстия при одиночном и двойном мощении с большим удобством. Сохраняя тот же чертеж, площади бассейнов ограничены до 12 кв. км.

(вместо 60 кв. км.), расход Q равен 36 куб. м. (вместо 180 куб. м.), длины v_0^3 (абсциссы в правой части) также уменьшены в пять раз (вместо принятой правой цифры 250 имеется 50).

Соответственно измененным масштабам построена в третьей четверти кривая v_0 , и построены горизонтальные и вертикальные линии $v_0 = 2,35$ м/сек. и $v_0 = 3,45$ м/сек., которые отстоят в пять раз дальше от начала координат вправо.

Пусть $F = 3$ кв. км. и $\alpha\beta = 0,25$, определим отверстия искусственных сооружений при укреплении одиночной мостовой, двойной мостовой и каменным лотком; $Q = 3 \times 16 \times 0,25 = 12$ куб. м.

При укреплении одиночной мостовой строим (по цифрам в скобках) ABC'_3 , прич ем C'_3 точка пересечения с линией $v_0 = 2,35$ м/сек. дает отверстие между 10 и 11 м. и принимаем 11 м., получаем точку C_3 , от которой строим линии $C_3D_3F_3F'_3$ и $C_3D_3E'_3F'_3$ и получаем $z = 0,54$ м. и принимая скорость подхода 1 м., получим и получаем $y = F_2F_3 = 0,76$ м.

При укреплении двойной мостовой (цифры в скобках) получаем C'_4 точку пересечения с линией $v_0 = 3,45$ м/сек.; отверстие получается между 3 и 4 м. и принимаем в 4 м., и строим линию $C_4D_4F_4F'_4$ и $C_4D_4E'_4F'_4$, и получаем $z = 1,14$ м. и $y = F_2F_4 = 1,55 - 0,05 = 1,50$ м.

При укреплении каменной кладкой (цифры не в скобках) получаем $Q = 12$ куб. м. и точку C'_5 пересечения с линией $v_0 = 5,0$ м/сек. Из чертежа видим, что отверстие—между 1 и 2 м., принимаем $x = 2$ м. и из точки C_5 строим линии $C_5D_5F_5F'_5$ и $C_5D_5E'_5F'_5$ и получаем $z = 1,68$ м. и $y = F_2F_5 = 2,45$ м.

Таким образом, для расхода в 12 куб. м. получаем данные, показанные в нижеследующей таблице для трех родов укрепления русла.

Род укрепления.	Величина отверст. в м.	y м.	z м.	$y-z$ м.
Одиночная мостовая. . . .	11	0,76	0,54	0,22
Двойная мостовая	4	1,50	1,14	0,36
Каменный лоток	2	2,45	1,68	0,77

Цифры на чер. 87, соответствующие измененным масштабам, можно нанести на отдельный чертеж, во избежание ошибок.

Точность, получаемая при графическом расчете, вполне достаточная.

Обычно расчет отверстия мостов выполняется по определенной форме. Ниже приводится такой расчет.

Расчет отверстия моста (трубы) через на км. пик. № при высоте насыпи 5 м.

Принятое отверстие моста (трубы) 4 м.

Площадь бассейна $F = 15$ кв. км.

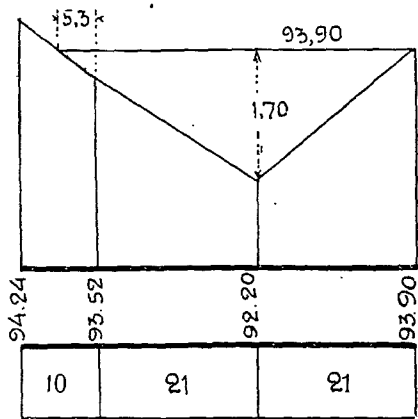
Длина бассейна $L = 6$ км.

Средний уклон лога от водораздела до сооружения $J = 0,0005$.

Уклон лога у сооружения $i = 0,0009$.

Поперечный профиль русла у сооружения (чер. 88).

Окончательно принятые отметки:



Чер. 88.

Дно лотка	92,20 м.
Горизонт высоких вод	93,90 м.
Подпертый горизонт высоких вод	95,75 м.
Бровка полотна	97,20 м.
Обрез фундамента	92,20 м.

Наибольший приток воды к сооружению по формуле Кестлина-Николаи:

$Q = 16\alpha\beta F = 16 \times 0,348 \times 0,500 \times 15 = 41,76$ куб. м. (α и β — коэффициенты, зависящие от длины и продольного уклона лога, определяются по таблицам).

Подбираем ощупью горизонт притекающей воды, соответствующий найденному расходу Q , получим его при отметке 93,90 м.

Действительно площадь живого сечения

$$\omega = \frac{0,38 \times 5,3}{2} + \frac{0,38 + 1,7}{2} \times 21 + \frac{1,7 \times 21}{2} = 40,7 \text{ кв. м.}$$

Подводный периметр

$$p = \sqrt{5,3^2 + 0,38^2} + \sqrt{(1,70 - 0,38)^2 + 21^2} + \sqrt{1,7^2 + 21^2} = 47,43 \text{ м.}$$

Подводный радиус

$$R = \frac{\omega}{p} = \frac{40,7}{47,43} = 0,858 \text{ м.}$$

Средняя скорость притекания воды v определяется по форм. (190).

$$v = C' \sqrt{i} = 35,30 \sqrt{0,00090} = 1,06 \text{ м/сек.}$$

C' определено по таблице XLV.

Тогда расход:

$$Q = 40,7 \times 1,06 = 43,14 \text{ м}^3.$$

Полученный расход весьма мало разнится от расхода, определенного по форм. Кестлина-Николаи. Потому найденный горизонт притекающей воды, соответствующий отметке 93,90 м., может быть принят за действительный.

Наибольшая глубина потока, равная разности отметок горизонта притекающей воды и дна:

$$a = 1,70 \text{ м. и } v = 1,06 \text{ м/сек.}$$

Допускаемая скорость по дну русла, стесненного сооружением при условии укрепления каменным лотком:

$$w = 4,5 \text{ м/сек.}$$

Находим соответствующую среднюю скорость в отверстии по таблице XLVI.

$$v_0 = 5,00 \text{ м/сек.}$$

Отверстие моста определяется по формуле:

$$x = \frac{gQ}{\mu v_0^3}$$

или по соответствующим таблицам, подсчитанным по вышеприведенной формуле

$$x = \frac{9,81 \times 41,76}{0,90 \times 5^3} = 3,65 \text{ м.}$$

Принятое отверстие моста 4,00 м.

Средняя скорость под мостом, при принятом отверстии определяется по формуле

$$v_0 = \sqrt[3]{\frac{gQ}{\mu x}} = \sqrt[3]{\frac{9,81 \times 41,76}{0,90 \times 4,00}} = 4,85 \text{ м.}$$

Высота воды внутри сооружения:

$$z = \frac{v_0^2}{g} = 0,102 \times 4,85^2 = 2,40 \text{ м.}$$

($z > a$; $2,40 > 1,7$, следовательно формулы применимы).

Высота подпертого горизонта:

$$y = 1,5 z - k = 1,5 \times 2,4 - 0,05 = 3,55 \text{ м.}$$

$$\text{где } k = \frac{1,06^2}{2 \times 9,81} = 0,05 \text{ м.,}$$

или отметка его 95,75 м.

Принимая от горизонта подпертой воды до низа фермы 0,75 м. и от низа фермы до подошвы рельса, для 4,00 м. железобетонного моста 0,90 м., получим высоту насыпи равной

3,55 + 0,75 + 0,90 — высота балластного слоя, которую примем в 0,50 м., и тогда получим наименьшую высоту насыпи:

$$H = \overset{3,55}{\cancel{2,40}} + 0,75 + 0,90 - 0,50 = 4,70 \text{ м.}$$

Так как проектная высота насыпи больше 4,70 м., то устройство моста возможно, в противном случае или надо поднять насыпь, или увеличить отверстие.

Расчет отверстия труб производится по тому же порядку по расходу, подсчитанному по Кестлину-Николаи, измененному на коэффициент α_0 , значение коего указано выше.

При устройстве мостов и труб надо обратить надлежащее внимание укреплению входного и выходного русел.

Входное русло укрепляется на высоту $y + 0,50$ м. Род укрепления назначается в зависимости от скорости притекания.

Выходное русло надо укрепить на высоту $a + 0,50$ м. и не менее, чем на высоту z ; род укрепления зависит от скорости воды в трубе: при скорости не больше 2 м.—одиночная мостовая, не больше трех м.—двойная мостовая и свыше 3-х м. до 6 м.—деревянным лотком.

Кроме изложенного способа расчета существует способ определения отверстий по эмпирическим формулам, которые дают возможность по площади бассейна прямо получить отверстие.

Этот способ широко распространен в С. Америке, где применяются эмпирические формулы вида:

$$x = C \sqrt{S^{n-r}}$$

Наибольшим распространением пользуются формулы Майерса (*Myers*) и Толбота (*Tolbot*).

Формула дает хорошие результаты для районов с влажным климатом, она имеет вид

$$x = C\sqrt{S},$$

где S — площадь бассейна в км².

$C = 1,5$ для ровной местности,

$C = 2,5$ для холмистой,

$C = 6$ для горной и скалистой.

Эта формула дает преувеличенные результаты для малых площадей и преуменьшенные для больших, наиболее хорошие результаты для ровной местности получаются по форм. Толбота

$$x = C\sqrt[4]{S^3}$$

По американским нормам с переводом на метрические меры коэффициент C принимается: $C = 4-6$ — для скалистых и крутых скатов, $C = 2$ — для слегка холмистой открытой местности, $C = 1,2-1,0$ для более продолговатых бассейнов, а также для местностей со слабыми ливнями и с медленным таянием снегов.

В сильные ливни сооружение, подсчитанное по формуле Толбота, работает с небольшим подпором.

В заключение надо сказать, что выгодность сооружения моста или трубы зависит от местных условий: высоты насыпи, возможности засорения, необходимостью устройства проезда под сооружением, качества грунта и пр.

При малой высоте, присутствии наносов, а также в случае устройства проезда предпочтительно надо устраивать мосты.

При высоких насыпях и малых отверстиях и если нет опасения забивания отверстий, выгоднее устраивать трубы.

При устройстве труб сохраняется общая непрерывность системы верхнего строения пути над трубой и это обеспечивает более плавный проход подвижного состава, чем при мостах, где толчки являются неизбежным явлением при эксплуатации.

Вследствие разделения трубы на отдельные звенья, трубы можно закладывать и на основании, где грунт по длине трубы различен.

Обладая вышеуказанными преимуществами пред мостами, трубы имеют и существенные недостатки. Большая их длина служит причиной заиливания и забивания (копны сена, камни), и прочистка их затруднительна, трубы обладают большой восприимчивостью к поперечной неравномерной осадке и при всем этом устройство трубы требует большей насыпи, чем при мостах.

§ 29. Расчет отверстий круглых труб.

Круглые трубы рассчитываются преимущественно работающими полным сечением под напором и только в редких случаях расчет производится по формулам безнапорных труб. Круглые трубы могут быть чугунными из оцинкованного волнистого железа, бетонные, железобетонные и гончарные.

Круглые трубы заготавливаются на заводе и в готовых звеньях доставляются к месту укладки. Кроме экономии в стоимости, получаемой при массовом изготовлении, получается и сбережение времени в производстве земляных работ, потому что засыпка труб может быть произведена через неделю после заботки.

Вследствие массовой заготовки трубы изготавливаются вполне определенных диаметров, обычно 1 м., 1,5 м. и 2,00 м. Наибольшим распространением пользуются трубы, диаметром 1,00 м.

Трубы из волнистого железа у нас применялись при невысоких насыпях, для пропуска незначительного количества воды (арыков) и на линиях магистрального характера (Оренбург—Ташкент и др.), при условии работы неполным сечением. Стыки труб должны быть неводопроницаемы; особенное внимание обращается при трубах, работающих полным сечением под напором.

1) Круглые трубы (чугунные), работающие полным сечением.

Расчет отверстий чугунных труб не производится, так как употребляются в дело трубы определенных диаметров (1 м., 1,5 м. и 2 м.), а производится только проверка достаточности трубы данного диаметра для пропуска ливневых вод при данных условиях. У нас обычно употребляются трубы диаметра 1,00 м. и только в редких случаях разрешается укладывать чугунные трубы, диаметром 1,5 и 2,00 м.

Возможность применения чугунной трубы обуславливается наибольшей допускаемой скоростью в трубе, величиной допускаемого подпора и высотой насыпи.

Наибольшая скорость воды в трубе не должна быть более 6 м. (20 фут.). При скорости воды в трубе до 3 м. (10 фут.), основание и обделка трубы могут быть из глины со щебнем, применение такой конструкции чугунных труб допускается только при насыпях не свыше 8,5 м. (4 саж.). Толщина стенок труб в этом случае делается 25 мм. (1 дюйм). При скорости воды в трубе от 3 до 6 м. (от 10 до 20 фут.), основание и

обделка чугунных труб должны быть бетонные или каменные; толщина стенок труб—30 мм. (1¼ дюйма). Применение таких труб допускается при насыпях до 15 м. (7 саж.).

Относительно допускаемой величины подпора или возвышения притекающей воды над центром трубы существуют следующие постановления:

а) При скорости протекания воды в трубе не более 3 м. (10 фут.) и высоте насыпи до 8,5 м. (4 саж.), высота подпора над центром входного отверстия допускается:

для высоты насыпи	2 м.	—	0,50 м.
»	»	»	4 м. — 0,65 м.
»	»	»	6 м. — 0,70 м.
»	»	»	8,5 м. — 0,75 м.

б) При скорости протекания воды в трубе от 3 до 6 м. (10—20 фут.), высота подпора над центром ^{входного} *) отверстия допускается:

при насыпи	3 м.	. . .	0,50 м.	при насыпи	8 м.	. . .	3,05 м.
»	»	4 м.	. . .	1,40 м.	»	»	8,5 м. . . . 3,20 м.
»	»	5 м.	. . .	2,00 м.	»	»	10 м. . . . 3,60 м.
»	»	6 м.	. . .	2,45 м.	»	»	12 м. . . . 4,05 м.
»	»	7 м.	. . .	2,80 м.	»	»	15 м. . . . 4,50 м.

Для промежуточных высот насыпей величина подпора определяется интерполяцией. Расчетная длина чугунной трубы зависит от высоты насыпи, но на практике должна быть выражена в целых числах метров, так как чугунная труба составляется из звеньев длиной 2 м.; обозначая число звеньев трубы через (n), длина трубы со скошенным входным звеном определится формулой:

$$L = 2n - 0,85 \text{ м.}$$

Так как вода в чугунных трубах идет полным сечением, то наибольший расход для чугунной трубы диаметром 1,00 м. будет следующий:

при допускаемой наибольшей скорости в трубе 3,00 м/сек. = 2,36 м³/сек
 » » » » » 6,00 » = 4,72 »

*) В своде распоряжений по службе пути (стр. 396 и 397) для скорости 10 (3 метра) высоту уровня воды предлагается считать от центра входного отверстия, а для скорости 20 (6 м.) над центром выходного отверстия трубы. Согласно расчета, следует в обоих случаях брать высоту над центром выходного отверстия.

Если расход, подсчитанный по формуле Кестлина-Николаи меньше вышеуказанных расходов ($Q = 2,36$ м³/сек. и $Q = 4,72$ м³/сек.), то проверка применимости трубы заключается в определении подпора h в зависимости от наибольшей скорости (v_0), возможной при данном расходе.

Между скоростью течения воды в трубе и подпором над центром выходного отверстия трубы существует нижеследующая зависимость:

$$h = \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{V_0^2}{2g}$$

В этой формуле:

h — высота подпора над центром трубы,

ξ — коэффициент сопротивления при входе в трубу; при скошенном входном звене $\xi = 0,87$; для чугунных труб с вертикальным срезом $\xi = 0,505$;

λ — коэффициент трения в трубе, который определяется по формуле Вейсбаха

$$\lambda = 0,01439 + \frac{0,009471}{V \sqrt{V_0}} \text{ для } V_0 \text{ в метрах}$$

При скоростях $V_0 =$ от 3 м/сек. до 6 м/сек. значение коэффициента λ близки между собой (при $V_0 = 3$ м/сек.

$\lambda = 0,0198$, при $V_0 = 6$ м/сек. $\lambda = 0,0183$), поэтому практически принимают $\lambda = 0,02$;

D — диаметр трубы, в данном случае равный 1,00 м.;

L — длина трубы (определяется числом звеньев);

g — ускорение силы тяжести = 9,80 м/сек²;

V_0 — скорость воды в выходном звене (м/сек.).

При этих численных величинах подпор выразится:

$$h = (0,094 + 0,00204 n) V_0^2 = \beta V_0^2 \text{ м.}$$

Следующая таблица дает значение коэффициентов β для разных высот насыпей, считая откосы полуторными.

Высота насыпи м.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Число звеньев шт.	6	8	9	11	12	14	15	17	18	20	21	23	24
Значен коэф. β	0,106	0,110	0,112	0,116	0,118	0,123	0,125	0,129	0,131	0,135	0,137	0,141	0,143

Поверочный расчет чугунной трубы производится следующим способом:

Определяем скорость протекания воды в трубе по формуле

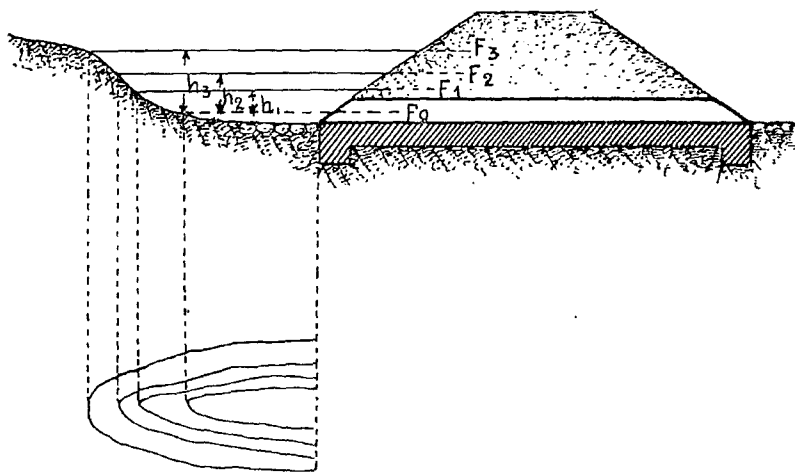
$$V_0 = \frac{Q}{\Omega},$$

где Q — наибольший приток воды к трубе, определенный по формуле Кестлина-Николаи,

Ω — площадь живого сечения воды в трубе.

Подставляя величину полученной скорости в выражение подпора, получим подпор при данной скорости.

Если полученная величина подпора не превосходит допускаемых вышеприведенных данных и при этом не происходит подтопление местности, то устройство трубы возможно.



Чер. 89.

Если же полученный подпор получается больше допустимого, или если расход, вычисленный по формуле Кестлина-Николаи, больше $4,72 \text{ м}^3/\text{сек.}$ для трубы отверстием $1,00 \text{ м.}$, то возможность применения трубы данного диаметра проверяется расчетом количества скопляющейся перед трубой воды за время ливня, продолжительностью не больше 2 часов или 7200 сек.

Если за это время скопится слой, высотой не более допускаемой h , то устройство чугунной трубы возможно, в противном случае устройство трубы данного диаметра (1 м.) не представляется возможным и надо или применить трубу большего диаметра или совершенно отказаться от устройства чугунной трубы.

Определение времени (t), необходимого для того, чтобы горизонт скопляющейся воды достиг высоты h , производится следующим способом (чер. 89):

Пусть:

F_x — переменная площадь скопляющейся подпертой воды;

x — переменная высота над центром трубы;

v_x — скорость, соответствующая этой высоте;

dt — бесконечно малый промежуток времени;

Q — расход по Кестлину-Николаи.

За время dt приток воды будет Qdt .

За то же время расход воды через трубу будет:

$$\frac{\pi d^2}{4} dt v_x$$

При чем v_x определяется (при условии работы полным сечением) по подстановке в формулу для h переменной величины x вместо h , т.е.

$$v_x = \sqrt{\frac{2gx}{1 + \xi + \lambda \frac{L}{D}}}$$

Следовательно, перед трубой остается следующее количество воды:

$$dt \left(Q - \frac{\pi d^2}{4} \mu \sqrt{2gx} \right), \text{ где } \mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi + \lambda \frac{L}{D}}}$$

Вследствие этого произойдет повышение горизонта подпертой воды на величину dx при переменной площади F_x и будем иметь:

$$F_x dx = dt \left(Q - \frac{\pi d^2}{4} \mu \sqrt{2gx} \right);$$

откуда

$$t = \int_0^h \frac{F_x dx}{Q - \frac{\pi d^2}{4} \mu \sqrt{2gx}}$$

Для простоты расчета труба предположена горизонтальной, а объем воды ниже центра трубы не принят во внимание.

В случае горизонтальности трубы высший наибольший предел для h определяется из формулы:

$$h = \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{d} \right) \frac{V_0^2}{2g}.$$

В случае укладки трубы с уклоном i , наивысший предел для h_i будет:

$$h_i = h - Li$$

Если изменение F_x следовало бы какому-либо определенному закону, то можно было бы определить время t точно, обычно же приходится решать вопрос ошпью.

Положим, на основании плана в горизонталях бассейна, нам известны площади $F_0, F_1 \dots F_n$ взятые на одинаковом расстоянии друг от друга, при чем площади F_n соответствует высота воды h_n , тогда для четного числа слоев (n) по формуле Симпсона будем иметь объем v :

$$V = \frac{h_n}{3n} \left(F_0 + 4 \left[F_1 + F_3 + \dots + F_{n-1} \right] + \right. \\ \left. + 2 \left[F_2 + F_4 + \dots + F_{n-2} \right] + F_n \right).$$

Если число слоев нечетное, то отделяем три слоя, объем коих

$$V_3 = \frac{h_3}{8} \left(F_0 + 3 (F_1 + F_2) + F_3 \right).$$

Объем же остальных слоев определяется по общей формуле для четного числа слоев.

В приведенных формулах h_n представляет собою полную высоту всех слоев воды, n —число слоев, $F_1, F_3 \dots F_{n-1}$ —нечетные слои, $F_2, F_4, F_6 \dots F_{n-2}$ —четные слои; F_0 —первый слой и F_n —последний четный слой.

Площади F_0 соответствует высота $h_0 = 0$

» F_1 » » h_1
 » F_2 » » h_2

и т. д.

Время t , необходимое для заполнения четного числа слоев, равно:

$$t = \frac{h_n}{3n} \left\{ \frac{F_0}{Q} + 4 \left[\frac{F_1}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_1}} + \frac{F_3}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_3}} + \dots + \frac{F_{n-1}}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_{n-1}}} \right] + 2 \left[\frac{F_2}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_2}} + \frac{F_4}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_4}} + \dots + \frac{F_{n-2}}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_{n-2}}} \right] + \frac{F_n}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_n}} \right\}$$

Время t при нечетном числе слоев определится так:

$$t = \frac{h_3}{8} \left\{ \frac{F_0}{Q} + 3 \left[\frac{F_1}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_1}} + \frac{F_2}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_2}} \right] + \frac{F_3}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_3}} \right\} + \frac{h_n - h_3}{3(n-3)} \left\{ \frac{F_3}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_3}} + \frac{4 F_4}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_4}} + \frac{2 F_5}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_5}} + \dots + \frac{F_n}{Q - \frac{\mu\pi d^2}{4} \sqrt{2gh_n}} \right\}$$

Когда приток воды к трубе мал и вода идет неполным сечением без напора, как по каналу кругового поперечного сечения, то для того, чтобы круглые трубы могли работать, в этом случае, им придают продольный уклон.

Уклон чугунным трубам дается с таким расчетом, чтобы при работе неполным сечением скорость не превосходила 3 м/сек. в случае глиняного ложа под трубой и 6 м/сек. в случае бетонного или каменного ложа.

В случае неполного сечения, наибольшая скорость течения в круглой трубе получается при глубине воды $h = 0,813 D$, что соответствует центральному углу $\alpha = 257^\circ 26'40''$.

Тогда гидравлический радиус будет:

$$R = \frac{\omega}{p} = \frac{0,684 D^2}{2,247 D} = 0,304 D$$

Наибольшая скорость определяется по формуле Шези:

$$V = C \sqrt{Ri} = C \sqrt{0,304 Di} = 0,552 C \sqrt{Di}.$$

Отсюда искомый уклон:

$$i = \left(\frac{V}{0,552 C} \right)^2 \frac{1}{D}, \text{ где } C \text{ — коэффициент, определяемый по}$$

формуле Гангилье-Куттера или Базена. Коэффициент шероховатости в формуле Гангилье-Куттера надо принимать $n = 0,01$.

Для трубы $D = 1$ м. уклон i получается:

при допускаемой наибольшей скорости $V = 3$ м/сек. $i = 0,005$

” ” ” ” ” $V = 6$ ” $i = 0,02$.

При работе чугунной трубы с напором скорость будет зависеть от высоты горизонта воды над выходным отверстием трубы. Уклон трубе при этом может быть придан в соответствии с уклоном лога; однако, уклон не должен быть круче определенных 0,005 для трубы с глинобитным фундаментом и 0,02 для трубы с бетонным фундаментом. При несоблюдении этого условия скорость при ливне, не достигающем расчетной интенсивности, и при работе трубы неполным сечением, могла бы превзойти допущенные пределы в 3 м/сек. и соответственно 6 м/сек. При работе трубы неполным сечением расход воды всецело определяется уклоном трубы, поэтому уклон должен быть по возможности равным 0,005 и соответственно 0,02, дабы вода не скапливалась перед трубой.

При местных условиях (заболоченное место, слабый уклон оврага), недопускающих такой уклон, приходится задаваться уклоном и определять, возможна ли работа трубы неполным сечением.

2. Работа трубы неполным сечением.

В том случае, если приток воды к сооружению настолько мал, что вода внутри круглой трубы постоянно течет неполным сечением без напора, принято трубы рассматривать с гидравлической стороны, как частный случай открытых русел.

Скорость внутри трубы определяется по формуле Шези:

$$V = C \sqrt{Ri}.$$

Коэф. C определяется по формуле Гангилье и Куттера.

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

В случае, если труба постоянно работает неполным сечением, то заполнение не должно быть более $\frac{3}{4}$ диаметра трубы.

Проверка пригодности трубы данного диаметра состоит в том, что для заполнения $0,75 D$ находят подводный радиус. Имея величину подводного радиуса и задаваясь уклоном трубы по формуле Шези, определяем скорость V .

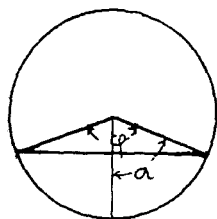
Тогда расход в трубе будет:

$$Q = \mu \omega v,$$

где коэф. сжатия 0,87 со скошенным входным звеном и 0,505 с вертикально срезанным.

Если полученный расход будет больше расхода, вычисленного по форм. Кестлина-Николаи, то применение трубы при заданном уклоне возможно, в противном случае надо или изменить уклон трубы и если это не даст требуемого расхода, надо перейти к трубе большего диаметра.

При поверочных расчетах рекомендуется пользоваться следующими формулами для круглых труб (черт. 90):



Черт. 90.

$$\omega = \frac{1}{8} \left(\varphi - \sin \varphi \right) D^2; \quad p = \frac{\varphi D}{2}; \quad R_1 = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi} \right) D;$$

где ω — площадь живого сечения,

D — диаметр трубы,

φ — линейное измерение угла — длина дуги при радиусе, равном единице, соответствующая углу φ ,

p — смачиваемый периметр,

R — гидравлический радиус.

При чугунной трубе, диаметром 1 м. и заполнении $0,75D$ получаются следующие величины:

$$\omega = 0,631 \text{ м}^2, p = 2,093 \text{ м.}, R = 0,301 \text{ м.}$$

или выражая те же величины через радиус трубы r и угол α :

$$\omega = r^2 (\alpha - \sin\alpha \cos\alpha); p = 2r\alpha; R = \frac{r}{2} \left(1 - \frac{\sin\alpha \cos\alpha}{\alpha} \right);$$

Изложенный способ расчета для чугунной трубы $D = 1$ м распространяется и на трубы других диаметров (1,5 м. — 2,00 м.) с соблюдением всех вышеуказанных условий в отношении скорости и подпора.

Теми же формулами следует пользоваться, если бы потребовалось произвести проверку расчета для существующей трубы 0,50 с. или другого диаметра, подставляя в формуле точную величину диаметра трубы в метрах—1,07 м. для трубы 0,50 с.; 1,60 м. для трубы 0,75 с. и 2,13 м. для трубы 1,00 с.

Так как существующие трубы уложены в некоторых случаях при насыпях свыше 15 м. (7 с.), то для этих случаев приводится таблица подпора для насыпей до 21 м. (10 с.).

Величина подпора над центром выходного отверстия трубы при насыпях от 15 до 21 м. (от 7 до 10 с.)

Высота насыпи Н	Метр.	15	16	17	18	21
	Саж.	7	8	—	9	10
Подпор	Метр.	4,59	4,70	4,80	4,90	5,0
	Саж.	2,10	2,20	—	2,30	2,35

Выходное русло укрепляется в зависимости от скорости воды в выходном звене трубы; при скоростях не больше 2 м. (7')—одиночная мостовая, не больше 3 м. (10')—двойная мостовая и свыше 3 м. до 6 м. (20')—деревянным лотком.

Входное русло, независимо от скорости воды в трубе, укрепляется мостовой.

Круглые трубы наиболее выгодно работают при пологих поперечных скатах и незначительных продольных уклонах, при

малых расходах, поэтому их выгодно применять на болотах, широких суходолах.

Во избежание забивки труб случайными крупными плавающими предметами, применяются решетки, каковые надлежит отодвигать от входа. Против занесения наносов в трубу может служить вертикальная особая насадка, но лучше в тех случаях, когда есть основание ожидать закупорения трубы (от наносов, наледей), совершенно отказаться от применения круглых труб, работающих полным сечением.

Пример 1. Пусть расход, вычисленный по формуле Кестлина-Николаи $Q = 2,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$, что менее $4,72 \text{ м}^3/\text{сек.}$, высота насыпи $H = 5,00 \text{ м.}$

Уклон трубы, принятый равным уклону дна оврага $i = 0,01$.

Требуется проверить возможность укладки при данных условиях чугунной трубы диаметром $D = 1,00 \text{ м.}$

Длина трубы определяется по формуле

$$L = 2n - 0,85,$$

где n — число звеньев берется из таблицы, для $H = 5 \text{ м.}$, $n = 11$.

Допускаемый подпор над центром выходного отверстия трубы, взятый из таблицы, соответствующий высоте насыпи $H = 5 \text{ м.}$, будет: $h_2 = 2,00 \text{ м.}$,

а над центром входного отверстия:

$$h_1 = 2,00 - 21,15 \times 0,01 = 1,79 \text{ м.}$$

Скорость протекания воды в трубе $V_0 = 3,18 \text{ м}^3/\text{сек.} > 3 \text{ м.}$

Следовательно, основание и обделка чугунной трубы должна быть бетонной или каменной.

Подпор вычисляется по формуле:

$$h = \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{V_0^2}{2g},$$

каковая для метровой трубы имеет вид:

$$\begin{aligned} h_0 &= (0,094 + 0,00204n) V_0^2 = \beta V_0^2 = \\ &= 0,116 \times 3,18^2 = 0,116 \times 10,11 = 1,17 \text{ м.} < 1,79 \text{ м.} \end{aligned}$$

Следовательно, применение трубы возможно.

Пример 2. Высота насыпи $H = 6 \text{ м.}$ Расход, вычисленный по формуле Кестлина-Николаи, $Q = 5,9 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Уклон трубы

$$^1) \quad V_0 = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{2,50,4}{\pi} = \frac{10}{\pi} = 3,18 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

$i = 0,005$. Диаметр трубы 1,00 м. Длина трубы $L = 12 \times 2 - 0,85 = 23,15$ м. В данном случае приток воды к сооружению более наибольшего возможного расхода трубы в 1,00 м. при наибольшей скорости $V_0 = 6$ м/сек., так как

$$5,9 > 4,72 \text{ куб. м.}$$

Допускаемая величина подпора над центром выходного отверстия для насыпи 6 м. будет (по таблице) $h = 2,45$ м.

а над центром входного: $2,45 - 0,005 \times 23,15 = 2,33$ м.,
а над дном: $2,33 + 0,5 = 2,83$ м.

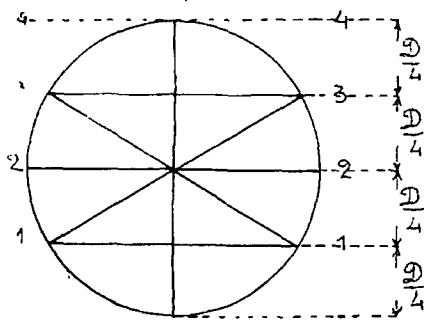
Трубу отверстием 1 м. можно уложить только в том случае, если высота скопившейся в течение 2 часов перед трубой воды не будет больше 2,83 м.

Пусть найдено было с'емкой:

При $h_0 = 0$ м.	$F_0 = 45$ кв. м.
» $h_1 = 0,25$ м.	$F_1 = 680$ кв. м.
» $h_2 = 0,50$ м.	$F_2 = 2500$ кв. м.
» $h_3 = 0,75$ м.	$F_3 = 5460$ кв. м.
» $h_4 = 1,00$ м.	$F_4 = 9560$ кв. м.
» $h_5 = 1,25$ м.	$F_5 = 15000$ кв. м.
» $h_6 = 1,50$ м.	$F_6 = 20000$ кв. м.
» $h_7 = 1,75$ м.	$F_7 = 30000$ кв. м.
» $h_8 = 2,00$ м.	$F_8 = 40000$ кв. м.
» $h_9 = 2,25$ м.	$F_9 = 70000$ кв. м.
» $h_{10} = 2,50$ м.	$F_{10} = 80000$ кв. м.

Здесь принята h — высота воды над дном трубы, и F — соответствующая данному горизонту площадь затопленная водой.

При повышении горизонта от $h_0 = 0$ до $h = 1$ м. труба работает неполным сечением. Определим сначала время поднятия горизонта на 1 м. Для этого воспользуемся формулой Симпсона, вставляя расход, определенный по формулам расхода труб, работающих неполным сечением. Разбиваем сечение трубы на



Чер. 91.

четыре части через 0,25 м. и определяем соответствующие расходы, принимая коэффициент шероховатости $n = 0,011$, а коэффициент сопротивления при входе в трубу $\xi = 0,87$ (чер. 91).

Сечение 1—1.

$$\cos \frac{\varphi_1}{2} = \frac{0,25}{0,5} = 0,50; \varphi = 120^\circ.$$

$$\text{Длина дуги } S = \frac{\pi r \varphi}{180} = 1,0472 \text{ м.}$$

$$\text{Площадь сикмента } F_1 = \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\varphi \pi}{180} - \sin \varphi \right) = 0,15355 \text{ м}^2.$$

$$\text{Подводный радиус } R_1 = \frac{0,15355}{1,0472} = 0,146; \sqrt{R_1} = 0,382;$$

$$C_1 = \frac{23 + \frac{1}{0,011} + \frac{0,00155}{0,005}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{0,005} \right) \frac{0,011}{\sqrt{R_1}}} = \frac{114,22}{1 + \frac{0,25641}{0,5}} = \frac{114,22}{1 + \frac{0,25652}{0,382}} = 68,31;$$

$$V_1 = C \sqrt{R_1} = 68,31 \sqrt{0,146 \times 0,005} = 1,83 \text{ м/сек.}$$

$$Q = 0,87 \times 0,15355 \times 1,83 = 0,245 \text{ куб. м.}$$

Сечение 2—2.

$$\varphi_2 = 180^\circ; S_2 = 1,5708 \text{ м.}; F_2 = 0,3927 \text{ м}^2; R_2 = \frac{0,3927}{1,5708} = 0,25;$$

$$\sqrt{0,25} = 0,5; C_2 = \frac{114,22}{1 + \frac{0,25652}{0,5}} = 75,48;$$

$$V_2 = C \sqrt{R_1} = 75,48 \sqrt{0,25 \times 0,005} = 2,66 \text{ м/сек.}$$

$$Q_2 = 0,87 \times 0,3927 \times 2,66 = 0,909 \text{ куб. м.}$$

Сечение 3—3.

$$\varphi_3 = 240^\circ; S_3 = 2,0944 \text{ м.}; F_3 = 0,63185 \text{ м}^2; R_3 = \frac{0,63185}{2,0944} = 0,302$$

$$\sqrt{0,302} = 0,55; C_3 = \frac{114,22}{1 + \frac{0,25652}{0,55}} = 77,85;$$

$$V_3 = 77,85 \sqrt{0,302 \times 0,005} = 3,02 \text{ м/сек.}$$

$$Q_3 = 0,87 \times 0,6319 \times 3,02 = 1,660 \text{ куб. м.}$$

Сечение 4—4.

$$\varphi = 360^\circ; S_1 = 3,1416 \text{ м.}; F_1 = 0,78538 \text{ м}^2; R_1 = \frac{0,78538}{3,1416} = 0,25;$$

$$\sqrt{0,25} = 0,5; C_2 = C_4 = 75,48; V_1 = V_2 = 2,66 \text{ м/сек.}$$

$$Q_1 = 0,87 \times 0,7854 \times 2,66 = 1,818 \text{ куб. м.}$$

Время поднятия горизонта на 1,00 м.

$$t = \frac{1}{3 \times 4} \left[\frac{45}{5,9} + 4 \left(\frac{680}{5,90 - 0,245} + \frac{5460}{5,90 - 1,66} \right) + \right. \\ \left. + \frac{2 \times 2500}{5,90 - 0,909} + \frac{9560}{5,90 - 1,818} \right] = \frac{1}{12} [7,60 + 5631,90 + \\ + 1001,8 + 2342,0] = 748 \text{ сек.}$$

При дальнейшем повышении горизонта труба будет работать полным сечением и для дальнейшего вычисления времени наполнения бассейна пользуемся формулой Симпсона следующего вида (с четным числом слоев через 0,25 м.).

$$t = \frac{h_n - h_1}{3(n-4)} \left[\frac{F_4}{Q - \mu \omega \sqrt{2gh_4}} + \frac{4F_5}{Q - \mu \omega \sqrt{2gh_5}} + \right. \\ \left. + \frac{2F_6}{Q - \mu \omega \sqrt{2gh_6}} \right] \text{ и где } \mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi + \lambda \frac{E_1}{D}}} = \\ = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,87 + 0,02 \times 23,15}} = 0,66$$

$$\mu \omega \sqrt{2g} = 0,66 \times 0,78538 \sqrt{2 \cdot 9,81} = 2,30$$

Определим время, в течение которого горизонт воды подымается с $h_4 = 1$ м. до $h_8 = 2,00$ м.

$$t = \frac{2-1}{3(8-4)} \left[\frac{9560}{5,90 - 2,3 \sqrt{0,50}} \right]^1 + 4 \left(\frac{15000}{5,90 - 2,3 \sqrt{0,75}} + \right. \\ \left. + \frac{30000}{5,90 - 2,3 \sqrt{1,25}} \right) + \frac{2 \times 20000}{5,90 - 2,3 \sqrt{1}} + \frac{40000}{5,90 - 2,3 \sqrt{1,5}} \Big] = 6475 \text{ сек.}$$

Общее время, в течение которого горизонт воды подымется на 2 м. над дном трубы:

$$T = 6475 + 748 = 7223 > 7200 \text{ сек.}$$

Отсюда видно, что в течение 7200 сек. горизонт поднимется на величину 2 м., меньшую 2,83, поэтому устройство трубы в данном случае возможно.

В связи с необходимостью укрепить откос насыпи на высоту на 0,50 м., выше горизонта, определенного для двухчасового

¹⁾ Высота подпора считается над центром трубы.

ливня, приходится определять горизонт для двухчасового ливня даже и в том случае, если имеется уверенность в достаточности высоты насыпи.

Из приведенного примера видно, что расход при пропуске воды полным сечением, но без подпора достигает $1,82 \text{ м}^3$ при угле $i = 0,005$. При большем значении величины i и расход увеличится.

Пример 3. Пусть расход воды, по Кестлину, равен $2,30 \text{ м}^3$. Задаемся уклоном трубы в $0,02$ м. и предположим, что вода идет неполным сечением, тогда: $Q = 2,30 = \mu \omega V$ и $V = C \sqrt{Ri} = C \sqrt{0,02R}$; где $R = \frac{\omega}{p}$.

Площадь ω будет равна:

$$\omega = r^2 (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) = 0,5^2 (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha); p = 2r\alpha = \alpha;$$

$$C = \frac{23 + \frac{1}{0,011} + \frac{0,00155}{0,02}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{0,02} \right) \frac{0,011}{\sqrt{R}}}$$

Вместо n подставлено $0,011$.

Задаемся величиной α в 100° (приходится делать несколько попыток), тогда:

$$\omega^1) = 0,5^2 (1,7453 + 0,174 \times 0,985) = 0,48 \text{ м}^2$$

$$p = \alpha = 1,7453 \text{ и } R = \frac{0,48}{1,7453} = 0,275 \text{ м.}$$

Вставляя в значение для C величину R , получим:

$$C = \frac{23 + \frac{1}{0,011} + \frac{0,00155}{0,02}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{0,02} \right) \frac{0,011}{0,275}} = 76,8$$

$$\text{и затем } V = 76,8 \sqrt{0,02 \cdot 0,275} = 5,68 \text{ м.}$$

$$\text{и } Q = \mu \omega V = 0,87 \times 0,48 \times 5,68 = 2,38 \text{ куб. м.}$$

Высота воды в трубе $= 0,5 + 0,50 \sin 100^\circ = 0,587 \text{ м.}$

1) В выражении в скобках знак $+$, так как $\cos 100^\circ$ величина отрицательная.

Если трубу по местным условиям нельзя уложить с уклоном в 0,02, то задаемся уровнем воды в трубе; далее приравниваем Q произведению ω на V , определяем V :

$$V = \frac{Q}{\mu \omega}$$

и далее по данному V определяем ошупью уклон трубы i .

Задаемся уровнем воды в трубе $h = 0,813$ $d = 0,813$ м.

Площадь воды будет, при $\alpha = \frac{257^{\circ}26'40''}{2} = 128^{\circ}43'20''$,

$\omega = 0,5^2 (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) = 0,25 (2,247 + 0,625 \cdot 0,780) = 0,684$ м²

$$V = \frac{2,30}{\mu \cdot 0,684} = 3,86 \text{ м/сек.}; R = \frac{0,684}{\alpha} = \frac{0,684}{2,247} = 0,304 \text{ м.}$$

Вставим в величину C все данные, кроме i :

$$C = \frac{23 + \frac{1}{0,011} + \frac{0,00155}{i} \quad 113,9 + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right) \frac{0,011}{\sqrt{0,304}} \quad 1 + 0,463 + 0,02 \frac{0,00155}{i}}$$

$$= \frac{113,9 + \frac{0,00155}{i}}{1,463 + 0,020 \frac{0,00155}{i}}$$

$$V = C \sqrt{0,304} i = 0,551 C \sqrt{i}$$

Вставляя разные значения i в значение для C и подставляя затем значения i и C в V , получим следующую таблицу:

$i =$	$C =$	$V =$
0,01	77,76	4,30
0,009	77,76	4,07
0,0085	77,77	3,96
0,0086	77,77	3,84

Из таблицы видно, что уклон трубы для заданного уровня воды в трубе должен быть между 0,0085 и 0,008 и ближе к 0,008, так как $3,96 > 3,86 > 3,84$.

§ 30. Укрепление откосов полотна.

Выше было указано, что полотно должно возвышаться на 1 м. над горизонтом высоких вод.

В пределах затопления рек откосы полотна должны быть укреплены с каждой стороны на 0,5 м. выше самого высокого горизонта высоких вод.

Если по местным условиям в пределах разлива может развиваться значительное волнение, то упомянутое возвышение должно считаться от гребня волны.

Так как в искусственных сооружениях водотоков допускается, в зависимости от рода укрепления, значительная скорость, то с верховой стороны обычно горизонт воды значительно выше, чем с низовой, поэтому в отношении возвышения укрепления над уровнем воды надо руководствоваться следующим:

1) С верховой стороны укрепления должно возвышаться на 0,50 м. над горизонтом подпертой воды.

2) С низовой стороны для всех искусственных сооружений, кроме труб, работающих полным сечением, укрепление должно возвышаться на 0,25 м. над горизонтом притекания воды, но должно быть во всяком случае не ниже расчетного уровня воды в сооружении.

3) Для труб, работающих полным сечением, укрепление с низовой стороны должно возвышаться на 0,25 м. выше верхней внутренней грани отверстия трубы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Проф. К. Ю. Цеглинский.—Курс железных дорог.
2. Проф. Стецевич.—Курс железных дорог.
3. Проф. К. А. Оппенгейм.—Проектирование железных дорог.
4. Проф. Горячкин.—Живые двигатели.
5. Труды НТК, выпуск № 47.—Материалы по классификации железных дорог.
6. Труды съездов инженеров Сл. Пути (XXXI, XXXII, XXXIII).
7. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, т. V.
8. Статьи из журнала Org. f. d. F.—1915 г. №№ 15 и 18, 1916 г.—№№ 10 и 11, 1918 г.—№№ 1 и 13.
9. Moreau—Cours de chemins de fer.
10. Dufour—Cours de chemins de fer.
11. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, т. V, В. 8—Steil und Seilbahnen.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
I. Общая часть.	
§ 1. Сухопутные, водные и воздушные сообщения	5
§ 2. Сухопутные сообщения. Понятие о силе тяги и сопротивлении	7
§ 3. Живые двигатели	10
§ 4. История возникновения жел. дорог	19
§ 5. Протяжение железных дорог в частях света и отдельных государствах	23
§ 6. Классификация жел. дорог	28
§ 7. Значение железных дорог	40
§ 8. Преимущества железных дорог	41
II. Общие сведения о подвижном составе.	
§ 9. Паровозы	47
§ 10. Вагоны	49
§ 11. Специализация и универсализация подвижного состава	50
§ 12. Ходовые части. Колесные скаты. Бандажи. Устройство букс.	53
III. Условия движения подвижного состава в прямых.	
§ 13. Условия движения подвижного состава в прямых	56
IV. Условия движения подвижного состава в кривых и уширение колеи.	
§ 14. Условия движения подвижного состава в кривых	62
§ 15. Вписывание в кривые (способ Роу'я)	73
V. Возвышение наружного рельса в кривых.	
§ 16. Возвышение наружного рельса в кривых	81
VI. Переходные кривые.	
§ 17. Общие указания	89
§ 18. Кривые переменного радиуса, заменяющие круговые кривые.	117
§ 19. Коробовые кривые и сопряжение их переходной кривой	120
§ 20. Сопряжение двух соприкасающихся кривых переходной кривой	132
§ 21. Разбивка переходных кривых	138

VII. Длины рельсов в кривых.

§ 22. Укороченные рельсы	142
§ 23. Величины зазоров	160

VIII. Расчет отверстий искусственных сооружений.

§ 24. Общие положения	163
§ 25. Определение данных, необходимых для расчета отверстий искусственных сооружений, перекрывающих водотоки с бассейном более 60 кв. км.	167
§ 26. Определение отверстий мостов, пропускающих весенние воды с бассейнов, площадью более 60 кв. км	177
§ 27. Определение данных, необходимых для расчета отверстий искусственных сооружений, перекрывающих водотоки с бассейном менее 60 кв. км.	196
§ 28. Определение отверстий малых мостов и труб	205
§ 29. Расчет отверстий круглых труб	226
§ 30. Укрепление откосов полотна	242
Л и т е р а т у р а	—

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ТРАНСПОРТА

МОСКВА, Бахметьевская улица, 15. Телефон 34-72.

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ:

- Антошин, А. Н.—Материалы к курсу коммерческой эксплуатации (основ. полож. устава ж. д.), стр. 88. М. 1927 г. Ц. 1 р. 80 к.
- Безухов, Иванов, Шапов.—Сборник задач по теории сооружений (Строит. мех., ч. II, вып. 1—6), под редакцией проф. И. П. Прокофьева.
- Гвоздев, А. А.—Расчет статически неопределимых систем. М. 1927 г., стр. 240. Ц. 3 р. 70 к.
- Гибшман, Е. А.—Графический расчет путевого устройства участковых станций. Стр. 26+1 лист черт. 1924 г. Ц. 35 к.
- Его же.—Изыскания жел. дор. Лит. М. 1925 г., стр. 176+57 черт. Ц. 3 р.
- Его же.—Станции. Общая часть и малые станции. М. 1926, стр. 100+2 л. черт. Ц. 1 р. 60 к.
- Дрейер, Л. В., проф.—Электротехника и электрификация. Конспект лекций, читан. в МИИТе в 1924—25 г. Литогр. М. 1925 г., стр. 125+8 лист. черт. Ц. 1 р. 70 к.
- Кельчевский, К. Ю., инж.—Разбивка тоннелей. 1626 г., стр. 20. Ц. 90 к.
- Кобылкин, В. Н., проф.—Примеры расчета деревянных мостов. М. 1926 г., стр. 226. Ц. 3 р. 25 к.
- Марцелли, М. И.—Метеорология. Основные понятия. М. 1927 г., стр. 144. Цена 2 р. 30 к.
- Николай, Л. В., проф.—Замечания по поводу курса проф. Патона «Составление эскиза». Литогр. 1926 г., стр. 24. Ц. 1 р.
- Постников, А. В., инж.—Металлургия чугуна, железа и стали. М. 1926 г., стр. 186. Ц. 2 р. 30 к.
- Родзевич, С. В.—Эксплуатация морского флота. Часть I. М. 1926 г., стр. 159. Ц. 2 р. 50 к.
- Его же.—Эксплуатация морского флота. Ч. II. М. 1926 г., стр. 159. Ц. 2 р. 50 к.
- Романченко, С. Ф.—Эксплоатация, расчеты. М. 1927 г., 216 стр. Ц. 3 р.
- Соколов, Н. П.—Руководство для проектирования и расчета портовых набережных. М. 1927 г., стр. 200. Ц. 3 р.
- Спировский, М. Г.—Примеры гидравлического расчета плотин. М. 1926 г. Ц. 60 к.
- Его же.—Примеры расчета бетонного флютбета плотины. М. 1927 г., стр. 40. Ц. 60 к.
- Филоненко-Бородич, М. М. проф.—Математические методы строительной механики и теории упругости. Литогр. 1925 г., стр. 60. Ц. 1 р.
- Чертежи нормальных типов рельс и скреплений. 2 листа. 1925 г. Ц. 35 к.
- Шиманский, С. В., инж.—Освещение жел.-дор. поездов. Лекции, читанные в ВТК. М. 1924 г., стр. VII+323. Ц. 2 р.
- Штанге, Д. А., проф.—Тяговые расчеты. М. 1926 г., стр. 114. Ц. 1 р. 50 к.
- Шумский, Д. В., проф.—Давление зерна на дно и стенки закровов. М. 1926 г., стр. 73. Ц. 80 к.
- Ястржембский, А. С.—Техническая термодинамика. М. 1926 г., стр. 288. Ц. 4 р.

ТРУДЫ МОСКОВСКОГО ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ТРАНСПОРТА.

ВЫШЛИ В СВЕТ:

- Выпуск I. М. 1926 г. Цена 2 руб.
- Выпуск II. М. 1926 г. Цена 2 р. 25 к. (в переплете).
- Выпуск III. М. 1927 г. Посвящен вопросам строительной механики. Цена 5 р. 50 к. (в переплете—5 р. 75 к.).
- Выпуск IV. М. 1927 г. Посвящен вопросам сооружения жел. дорог. Цена 4 р. 25 к. (в переплете—4 р. 50 к.).
- Выпуск V. М. 1927 г. Посвящен вопросам эксплуатации жел. дорог. Цена 5 р. 50 к. (в переплете—5 р. 75 к.).

НАХОДИТСЯ В ПЕЧАТИ:

- Выпуск VI. Посвящен вопросам гидротехники.

Е. А. ГИБШМАН—Железные дороги, ч. I.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ (с гл. I—VII).

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
6	18 сверху	маневровых	маневрах
16	чертеж	0,69	0,65
17	3 снизу	км	м
23	7 и 1 снизу	отношение m	отношением
30	10 сверху	равными	разными
38	13 снизу	вагонами	вагонов
57	4 сверху	переходимый	проходимый
64	4 снизу	$k^2 - h^2 + bl$	$k^2 - h^2 + 2bl$
67	4 снизу	e	e_2
74	2 сверху	$Rk - Rk$	$R - R$
75	3 сверху	$\frac{1}{8} \left(\frac{1}{R} \right)^{3,2} l_n^2 + \frac{1}{16} \left(\frac{1}{n} \right)^{5,4} l_n$	$\frac{1}{8} \left(\frac{l}{R} \right)^3 l_n^2 + \frac{1}{16} \left(\frac{l}{n} \right)^5 l_n^4$
77	3 сверху	$\alpha' = \frac{l'}{R'} = \frac{n^2}{R} = \frac{l}{R} n$	$\alpha' = \frac{l'}{n'} = \frac{n}{R} = \frac{l}{R} n$
95	9 сверху	03,861	0,3861
96	таблица	$\alpha = 3^{\circ} 39' 24''$	$\alpha = 2^{\circ} 39' 24''$
100	19 сверху	$\frac{x^3}{bc}$	$\frac{x^3}{6Rl}$
105	7 сверху	+1	+ 2S - l
109	9 сверху	$2T + 1 - S_0$	$2T + 2b_1 - S_0$
109	10 сверху	$2Rtg \frac{\beta}{2} - \left[1 + \right.$	$2 \left(Rtg \frac{\beta}{2} + b_1 \right) - \left[2l + \right.$
111	6 снизу	Y_r	Y_e
111	6 снизу	$\frac{Ye}{2} = \frac{p}{2}$	$Y_c = \frac{p}{2}$
112	9 сверху	Радиодальная	Радионадальная
113	6 сверху	$\sqrt{2 C \cos \varphi}$	$\sqrt{2C \cos \varphi}$
113	7 сверху	$\sqrt{2C \sin \varphi}$	$\sqrt{2C \sin \varphi}$
122	16 снизу	$(2R_1 R_2)$	$(2R_1 - R_2)$
123	3 снизу	$R_1 R_2$ то R_2 будет $< k$	$R_1 > R_2$ то R_2 будет $< R$
126	Чертеж	При O_2 угол β	При O_2 угол β_2
133	4 снизу	G_2'	K'
142	Таблица	1100 и менее	1100 и более
143	8 снизу	по таблице I	по таблице XXX
147	4 снизу	В таблице XXXI	В таблице XXXII

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ (гл. VIII).

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
166	7 сверху	$V_2 b$	V_2
170	3 снизу	вертикальной	вертикали
174	10 снизу	$C = \left[23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{2} \right]$	$V = \left[23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{i} \right]$
174	11 снизу	Коэффициент C	Скорость V
180	1 снизу	$JK'' = 0$	$Lh' = 0$
186	1 снизу	$\sqrt{R_1 + C_1}$	$\sqrt{R_1 + C_1}$
		$\sqrt{R_2 + C_2}$	$\sqrt{R_2 + C_2}$
		$\sqrt{R_3 + C_3}$	$\sqrt{R_3 + C_3}$
190	чертеж	0,59 Отм. (69,57 с.) (0,267 с.)	0,597 м Отм. (62,57 с.) (0,167 с.)
192	3 снизу	$Q_2 = \Omega_2 V_2$	$Q_1 = \Omega_1 V_1$
198	7 снизу	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
202	6 снизу	но форм. (190)	но форм. (189)
217	15 сверху	значения	значения v_0
222	17 сверху	$J = 0.0005$	$J = 0.005$
222	10 снизу	92.90	92.20
224	13 сверху	$\Pi = 2.40 +$	$\Pi = 3.55 +$
227	15 сверху	над центром входного	над центром выходного
239	14 сверху	$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi + \lambda \frac{4}{D}}}$	$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi + \lambda \frac{L}{D}}}$

