

*М. Вакман*

**СБОРНИК**

---

---

---

*задачи*  
**по СЦБ**

---

**ТРАНСЖЕЛДОРЕЗДАТ.  
1935**

НТБ  
ДНУЖТ





*Настоящий задачник является пособием для углубленной проработки отдельных разделов курса «Сигнализация, централизация и блокировка» (СЦБ).*

*В задачнике охвачены главные разделы СЦБ. Каждому отделу задач предпосланы краткие указания о способах решения с приведением основных формул; в конце каждого раздела приведен перечень литературы.*

*Являясь пособием для вузов, труд этот может быть также рекомендован и для административно-технических работников СЦБ, работающих на железных дорогах.*

---

Рецензент *Майшев П. Д.*

Редактор *Фомин А. Н.*

Техн. редактор *В. Н. Чернякова.*

Уполном. Главлита В-93797. ЖДИЗ 1339 Ж-1а Зак. тип. 8770

Тираж 7160 экз. Формат 62×94 <sup>1</sup>/<sub>6</sub>. 11 печ. л. 51 408 зн. в п. л.

Сдано в набор 17/ХІІ-34 г. Подписано к печати 7/ІІІ—35 г.

Б-я типография Трансжелдориздата НКПС, Москва, Калачевский тупик, д. 3/5

НТБ  
ДНУЖТ

Замеченные опечатки к книге М. Вахлина „Сборник задач по ССБ“

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
81	12 сверху	$\gamma = \gamma \cdot l^{\varphi} \gamma =$	$\gamma = \gamma \cdot l^{\varphi} \gamma =$	Сверщика Мерецкой
83	Подпись под рис. 48	Для рельсов I-IIa	Для рельсов т. IIa	Мерецкой
83	Подпись под рис. 49	Для рельсов IIIa	Для рельсов т. IIIa	Мерецкой
84	4 сверху	$\left( \frac{1000}{l_s} - 1 \right)$	$\left( \frac{1000}{l_s} - 1 \right)$	Типографии
84	Подпись под рис. 59	Для рельсов I-IIa	Для рельсов т. IIa	Мерецкой
85	20 сверху	$\sqrt{r_{\omega}^2 + (\omega L)^2}$	$= \sqrt{r_{\omega}^2 + (\omega L)^2}$	Мерецкой
110	Подпись под рис. 67	Эскис	Эскиз	Типографии
158	9 сверху	по формулам (129) и (130)	по формулам (129) и (130)	Типографии
160	2 сверху	II), цепь—состоящая	II) — цепь, состоящая	Сверщика Ивановой
160	2 снизу	печи	цели	Знаменского



## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	5
О т д е л ы .	
I. Расстановка сигналов по тормозным расстояниям. Задачи 1—6	7
II. Расчет видимости светофоров. Задачи 7—18	21
III. Выбор режима горения сигнальных ламп. Задачи 19—23	36
IV. Механическое управление стрелками и сигналами. Задачи 29—36	47
V. Расчеты по стрелочным электроприводам. Задачи 37—43	59
VI. Составление перечней централизуемых объектов, таблиц взаимозамыкания и схем ящиков зависимости. Задачи 44—52	66
VII. Расчет характеристик рельсовой цепи. Задачи 53—58	80
VIII. Расчеты по реостатам (омическим сопротивлениям), реакторам, трансформаторам и стыковым дросселям. Задачи 59—67	94
IX. Расчеты по реле. Задачи 68—75	109
X. Расчеты рельсовых цепей постоянного тока. Задачи 76—85	119
XI. Расчеты рельсовых цепей переменного тока. Задачи 86—93	132
XII. Расчеты питания и проводов. Задачи 94—105	151
XIII. Составление упрощенных развернутых схем для полуавтоматической блокировки. Задачи 106—111	159
Приложения	164



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Область устройств СЦБ, с осуществлением на жел. дорогах СССР реконструктивных мероприятий, значительно расширилась; к ряду давно применявшихся систем СЦБ добавилось много новых, значительно более совершенных, но одновременно и более сложных (автоблокировка, автоконтроль, механизация сортировочных горок, диспетчерская централизация и пр.). Кроме увеличившегося разнообразия устройств СЦБ в периоды первой и второй пятилеток в отношении их явственно повысились требования как в смысле улучшения оформления, так и в отношении обстоятельности технико-экономического анализа и углубленного расчета устройства их. Выполнение таких требований, естественно вытекающих из основных предпосылок социалистического строительства, выдвигает на очередь вопрос о качественном повышении подготовки работников СЦБ во втузах.

Целевой установкой предлагаемого задачника по СЦБ и является содействие углублению изучения и проработки СЦБ, что не может быть обеспечено только изучением основных курсов по СЦБ. Опыт создания пособия-задачника по СЦБ является первым в СССР; за границей также нет изданий, охватывающих комплекс вопросов по СЦБ так, как это сделано в предлагаемом труде.

Естественно, что первый опыт нельзя будет считать исчерпывающе разрешившим все расчеты по устройствам СЦБ; много сторон, касающихся устройств СЦБ, в задачнике не удалось затронуть за недостатком места; возможно в освещаемых вопросах также найдутся дефекты и неясности, которые требуют дальнейшей доработки, при последующем переиздании.

Однако, можно надеяться, что и в предлагаемом объеме задачник по СЦБ должен сыграть положительную роль в поднятии изучения и проработки комплекса основных вопросов по СЦБ в транспортных втузах на более высокий уровень.

В интересах наибольшего приближения в будущем содержания задачника к жизненным запросам развивающегося ж.-д. транспорта, просим все пожелания и замечания по задачнику направлять по адресу: Москва, 9, ул. Горького, 24. Трансжелдориздат.



## **I РАССТАНОВКА СИГНАЛОВ ПО ТОРМОЗНЫМ РАССТОЯНИЯМ**

Выполнение сигнального приказа требует восприятия сигнала на расстоянии, достаточном для принятия мер к торможению и для осуществления самого торможения. Таким образом расчетный путь торможения в целях реального осуществления безопасности движения либо должен перекрываться видимостью главного путевого сигнала, либо должен быть отмечен установкой предупредительного сигнала, от которого должно начинаться торможение поезда. Последнее решение наиболее удовлетворяет требованиям безопасности, так как расположение предупредительного сигнала перед главным на расстоянии тормозного пути при самых неблагоприятных условиях видимости обеспечивает своевременное извещение машиниста о принятии мер к торможению. В установках автоблокировки, при принятой в СССР трехзначной сигнализации, каждый перегонный сигнал является предупредительным по отношению к последующему и, как следствие указанного, расстояние между перегонными сигналами автоблокировки не должно быть менее тормозного пути.

Расположение устройств авторегулировки и автостопов, естественно, также базируется на соблюдении тормозных расстояний, что следует из самого целевого назначения указанных устройств.

Из сказанного делается ясной необходимость увязки устройств СЦБ с тормозными расчетами, а следовательно и необходимость для технических работников СЦБ уметь производить тормозные расчеты.

Методы расчета тормозных расстояний составляют предмет курса „Тяговых расчетов“, где они излагаются подробно и всесторонне; в настоящем же разделе дается лишь сжатая сводка наиболее простых приближенных формул расчета, достаточных для решения задач сигнализации, связанных с тормозными расстояниями.

Распространенным и удобным методом нахождения тормозных расстояний является графический метод Липеца; применение его будет иллюстрировано в последующих задачах.

Кроме указанного метода удобно и быстро решаются задачи нахождения тормозных путей посредством номограмм. Такие номограммы приведены в приложении I.



Для пользования указанными номограммами требуется знать тормозной коэффициент

$$\vartheta = \frac{\Sigma X}{P + Q}, \quad (1)$$

где:

$\Sigma X$  обозначает сумму нажатия колодок паровоза с тендером и тормозных вагонов в поезде;

$P$  и  $Q$  — веса паровоза, тендера и состава.

Необходимые данные о величинах нажатия колодок и весах паровоза, тендера и вагонов приведены в приложении II.

Полный расчетный путь торможения  $S$  складывается из тормозного пути  $S_{\kappa}$  и пути подготовки к торможению  $S_{\text{п}}$ , т. е.

$$S = S_{\kappa} + S_{\text{п}}. \quad (2)$$

Тормозной путь определяется по формуле:

$$S_{\kappa} = \frac{4,17 (V_{\text{н}}^2 - V_{\text{к}}^2)}{w_{\text{ср}} \pm i_{\kappa} + b_{\kappa}}, \quad (3)$$

где:

$V_{\text{н}}$  — скорость поезда в начале торможения;

$V_{\text{к}}$  — скорость поезда в конце торможения;

$w_{\text{ср}}$  — среднее сопротивление подвижного состава при движении по площадке;

$i_{\kappa}$  — приведенный уклон или подъем;

$b_{\kappa}$  — удельная тормозная сила.

Приведенный уклон равен:

$$i_{\kappa} = \pm i + w_r, \quad (4)$$

где  $w_r$  — сопротивление от кривых с радиусом  $R$ , принимаемое равным:

$$w_r = \frac{750}{R} \text{ кг/т}. \quad (5)$$

Удельная тормозная сила

$$b_{\kappa} = 1000 \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \vartheta, \quad (6)$$

где  $\varphi_{\kappa}$  — коэффициент трения колодок о бандажи; значение  $\varphi_{\kappa}$  определяется обычно по формуле:

$$\varphi_{\kappa} = 0,24 - 0,0018V; \quad (7)$$

при уклонах же, больших 15‰, пользуются формулой:

$$\varphi_{\kappa} = 0,2 - 0,0015V \quad (8)$$

Величина пути подготовки к торможению  $S_{\text{п}}$  согласно правилам производства тяговых расчетов определяется по формулам.



Для ручных тормозов:

а) в грузовых поездах:

$$S_2 = 7V \text{ (в метрах);} \quad (9)$$

б) в пассажирских и воинских поездах:

$$S_2 = 5V(m). \quad (10)$$

Для автоматических тормозов:

а) грузового типа:

$$S_2 = 3,3V(m), \quad (11)$$

б) пассажирского типа:

$$S_2 = 1,4V(m). \quad (12)$$

Значения удельных сопротивлений разных частей подвижного состава на прямой площадке приведены в приложении II. Можно также рассчитывать значения  $w_{cp}$  по следующим формулам:

а) для грузовых поездов:

$$w_{cp} = 1,5 + 0,05V, \quad (13)$$

б) для пассажирских поездов:

$$w_{cp} = 1,4 - 0,02V + 0,0002V^2. \quad (14)$$

Применение приведенных формул будет пояснено в решениях последующих задач.

**Задача 1.** Для усиления провозной способности на участке введены паровозы серии ЭУ с составом  $Q_1 = 1350 \text{ т}$  вместо паровозов серии Щ с составом  $Q_2 = 850 \text{ т}$ .

Определить, потребуется ли при переходе на новые составы перенести предупредительный диск, установленный перед входным сигналом на уклоне  $i = -4\text{‰}$  и кривой радиуса  $R = 1500 \text{ м}$ .

Наибольшая скорость паровоза ЭУ принимается равной  $V_1 = 50 \text{ км/ч}$ , а Щ —  $V_2 = 60 \text{ км/ч}$ .

Число тормозных вагонов принимается равным:

П а р о в о з	2-осных вагонов		4-осных вагонов	
	с ручными тормозами	с автотормозами	с ручными тормозами	с автотормозами
ЭУ	2	2	1	4
Щ	1	1	1	3

НТБ  
ДРУЖТ



*Решение.* Тормозной путь при весьма приближенном способе расчета определяем по формуле (3), полагая  $V_k = 0$ ; замедляющие усилия принимаем постоянными, соответствующими средней скорости между предельными значениями скорости; таким образом имеем:

$$S_k = \frac{4,17 V_n^2}{w_{cp} - i_k + b_k}; \quad (15)$$

$V_n'$  при паровозе ЭУ равно 25 км/ч и  $V_n''$  при паровозе Щ равно 30 км/ч.

По формуле (13) при паровозе ЭУ

$$w_{cp} = 1,5 + 0,05 \cdot 25 = 2,75 \text{ кг/т};$$

при паровозе Щ

$$w_{cp} = 1,5 + 0,05 \cdot 30 = 3,0 \text{ кг/т}.$$

Приведенный уклон

$$i_k = -i + \frac{750}{R} = -4 + \frac{750}{1500} = -3,5 \text{ кг/т}.$$

Для нахождения величины  $b_k$  определяем  $\varphi_k$  и  $\vartheta$  для случаев паровоза ЭУ и Щ соответственно по формулам (7) и (6):

П а р о в о з ЭУ	П а р о в о з Щ
$\varphi_k' = 0,24 - 0,0018V =$ $= 0,24 - 0,0018 \cdot 25 = 0,195$	$\varphi_k'' = 0,24 - 0,0018V =$ $= 0,24 - 0,0018 \cdot 30 = 0,186$
$\vartheta' = \frac{130 \cdot 0,32 + 2 \cdot 4,32 + 2 \cdot 7,2 + 14,7 \cdot 0,6 + 4 \cdot 14,7}{130 + 1350}$ $= \frac{41,6 + 90,66}{1480} = 0,0895$	$\vartheta'' = \frac{120 \cdot 0,3 + 4,32 + 7,2 + 14,7 \cdot 0,6 + 3 \cdot 14,7}{120 + 850}$ $= \frac{100,44}{970} = 0,108$

Имея  $\varphi_k$  и  $\vartheta$ , находим  $b_k$  по формуле (6):

а) для паровоза ЭУ имеем

$$b_k' = 1000 \cdot 0,195 \cdot 0,0895 = 17,45;$$

б) для паровоза Щ имеем

$$b_k'' = 1000 \cdot 0,186 \cdot 0,108 = 20,1.$$

Подставляя найденные значения в формулу (15), получим:

а) для паровоза ЭУ:

$$S_k' = \frac{4,17 \cdot 50^2}{2,75 - 3,5 + 17,45} = 624 \text{ м};$$



б) для паровоза Щ:

$$S_{\pi}'' = \frac{4,17 \cdot 60^2}{3,0 - 3,5 + 20,1} = 784 \text{ м.}$$

Так как  $S_{\pi}'' > S_{\pi}'$ , то перенос диска можно не производить; оставление его на месте дает дополнительную гарантию.

**Варианты заданий по условию задачи 1-й**

№№ варианта	Серии паровозов		$Q_1$	$Q_2$	$i^{\circ}/_{00}$	$R$	$V_1$	$V_2$	Количество тормозных вагонов по варианту
	БЫВШИХ	ВНОВЬ ВВОДИМЫХ							
1	Щ	Е <sup>Ф</sup>	960	1 450	0	1 500	60	55	а-д
2	Щ	ФД	900	1 800	-2	∞	60	60	б-в
3	Щ	ЭУ	780	1 220	-2,5	3 000	60	50	а-г

**Варианты количества тормозных вагонов**

Обозначение вариантов	2-осных вагонов		4-осных вагонов	
	с ручным торможением	с автоторможением	с ручным торможением	с автоторможением
а.	2	1	—	2
б.	3	—	1	2
в.	4	2	2	4
г.	3	2	1	3
д.	2	3	2	3

**Задача 2.** На перегоне с подъемом  $i = 4^{\circ}/_{00}$ , оборудованном автоблокировкой, проходные сигналы расставлены по предельному товарному составу, при чем минимальное расстояние между ними оказалось равным  $l = 700 \text{ м}$ . Определить, допустимо ли указанное расстояние при введении на данном участке быстроходных пассажирских поездов со скоростью движения  $V = 80 \text{ км/ч}$ .

Состав поезда  $Q$  — 8 классных 4-осных вагонов весом по 54 т. Паровоз серии  $C^y$  с 4-осным тендером.



*Решение.* Приведенная задача сводится к нахождению расчетного тормозного пути для быстроходного пассажирского поезда и сравнения его с  $l = 700$  м.

Так как замедляющие усилия изменяются с изменением скорости, то для получения более точных значений тормозного пути полное изменение скорости разбивают на небольшие интервалы; в пределах этих интервалов принимают, что замедляющие усилия остаются постоянными, соответствующими средней скорости в пределах интервала; далее подсчитывают все элементы тормозного пути, проходящие в отдельные интервалы изменения скорости; сложив найденные элементы тормозного пути, находят весь тормозной путь.

По данным задания находим тормозной коэффициент:

$$\varphi = \frac{\Sigma X}{P + Q} = \frac{120 \cdot 0,33 + 8 \cdot 30,7}{120 + 8 \cdot 54} = \frac{39,6 + 245,6}{120 + 432} = \frac{285,2}{552} = 0,517.$$

Не стремясь к получению высокой степени точности, мы можем полное изменение скорости от 80 до 0 км/ч разбить на интервалы по 20 км/ч и определять замедляющие усилия для средних скоростей в указанных интервалах, т. е. для 70, 50, 30 и 10 км/ч; для нахождения  $w_{cp}$  и  $\varphi_k$  пользуемся формулами (14) и (7).

Результаты подсчетов получатся следующие:

$V$ км/ч.	$w_{cp} = 1,4 + 0,02V + 0,0002V^2$	$b_k = 1000\varphi(0,24 - 0,0018V) =$ $= 517(0,24 - 0,0018V) =$ $= 124 - 0,93V$	$w_{cp} + b_k$
70	3,78	58,9	62,68
50	2,9	77,5	80,4
30	2,18	96,1	98,28
10	1,62	114,7	116,32

Имея  $w_{cp} + b_k$ , находим по формуле (3) элементы тормозного пути по отдельным интервалам.

1. В интервале 80—60 км/ч:

$$S_{1k} = \frac{4,17 \cdot (80^2 - 60^2)}{62,68 + 4} = \frac{4,17 \cdot 2800}{66,68} = 175 \text{ м.}$$

2. В интервале 60—40 км/ч:

$$S_{2k} = \frac{4,17(60^2 - 40^2)}{80,4 + 4} = \frac{4,17 \cdot 2000}{84,4} = 98,8 \text{ м.}$$

3. В интервале 40—20 км/ч:

$$S_{3k} = \frac{4,17(40^2 - 20^2)}{98,28 + 4} = \frac{4,17 \cdot 1200}{102,28} = 48,8 \text{ м.}$$

4. В интервале 20—0 км/ч:

$$S_{4к} = \frac{4,17 \cdot 20^2}{116,32 + 4} = \frac{4,17 \cdot 400}{120,32} = 13,9 \text{ м.}$$

Складывая найденные элементы тормозного пути, находим весь тормозной путь:

$$S_{к} = S_{1к} + S_{2к} + S_{3к} + S_{4к} = 175 + 98,8 + 48,8 + 13,9 = 336,5 \text{ м.}$$

Величина пути подготовки к торможению по формуле (12) будет:

$$S_{п} = 1,4 \cdot 80 = 112 \text{ м.}$$

Следовательно, расчетный путь торможения получится:

$$S = S_{к} + S_{п} = 336,5 + 112 = 448,5 \text{ м.}$$

Сравнивая  $S$  (448,5 м) и  $l$  (700 м), видим, что минимальное расстояние между сигналами допустимо и при введении указанных быстроходных поездов.

#### Варианты заданий по условию задачи 2-й

№№ вариантов	$i$ ‰	$l$ м	Серия паровоз.	$V$ км/ч	Число вагонов
1	3	750	Л	100	8 четырехосных
2	2,5	800	Л	100	10 "
3	3,5	725	М	90	12

**Задача 3.** Для прохода поезда по мосту со сплетением путей на нем требуется снижение скорости до  $V_{к} = 10$  км/ч. Определить, на каком расстоянии от моста должен быть расположен постоянный сигнал снижения скорости, если при подходе к мосту уклон  $i = 6$  ‰ и циркулирующие составы имеют вес  $Q = 1600$  т при паровозе ЭУ.

В составе поезда имеются 8 четырехосных и 2 двухосных вагонов с автотормозами и 5 двухосных на ручном торможении.

**Решение.** Для приближенного решения применяем формулу (3), полагая  $V_{н} = 50$  км/ч и  $V_{к} = 10$  км/ч. Тормозной коэффициент по данным задачи будет равен:

$$\vartheta = \frac{130 \cdot 0,32 + 8 \cdot 14,7 + 2 \cdot 7,8 + 5 \cdot 7,2 \cdot 0,6}{130 + 1600} = \frac{196,4}{1730} = 0,1136.$$

Входящие в знаменатель формулы (3) величины  $w_{ср} + b_{к}$  определяем по номограмме А приложения I для средней скорости  $\frac{V_{н} + V_{к}}{2} = \frac{50 + 10}{2} = 30$  км/ч, имея найденное уже значение  $\vartheta$ ;

$w_{ср} + b_{к}$  получается равным 24.



Тормозной путь

$$S_{\kappa} = \frac{4,17(50^2 - 10^2)}{24 - 6} = \frac{4,17 \cdot 2400}{18} \cong 556 \text{ м.}$$

Путь подготовки к торможению берем по формуле (9):

$$S_{\pi} = 7 \cdot V_{\pi} = 7 \cdot 50 = 350 \text{ м.}$$

Следовательно, сигнал снижения скорости надо поставить на расстоянии  $556 + 350 = 906 \text{ м}$  от моста.

Варианты заданий по условию задачи 3-й

№№ вариан- тов	$V_{\kappa}$	$V_{\pi}$	$i \text{ ‰}$	$Q$	Серия паро- возов	Число тормозных вагонов			
						4-осных		2-осных	
						ручн. торм.	авто- торм.	ручн. торм.	авто- торм.
1.	5	60	8	900	Щ	1	3	2	1
2.	5	50	8	1500	ЭУ	—	5	3	2
3.	10	60	6	1100	Щ	—	3	3	2
4.	10	60	10	1200	ФД	—	6	4	4

**Задача 4.** На участке, подлежащем оборудованию автоблокировкой, имеют обращение пассажирские поезда дальнего следования с паровозом и составом, указанными в задаче 2, и трехвагонные секции пригородного электрифицированного движения, имеющие тару  $132 \text{ т}$  и вес состава  $164 \text{ т}$ . Руководящий уклон принимается равным  $10 \text{ ‰}$ . Из сравнения тормозных путей дальнего поезда и электросекции вывести заключение о целесообразности введения на данном участке четырехзначной сигнализации. Наибольшие скорости принимаются: а) для дальнего поезда  $80 \text{ км/ч}$  и б) для секции  $60 \text{ км/ч}$ .

**Решение.** Для дальнего поезда, учитывая рассчитанные в задаче 2 величины  $w_{\text{ср}}$  и  $b_{\kappa}$ , находим:

$$S_{1\kappa} = \frac{4,17(80^2 - 60^2)}{62,68 - 10} = 206 \text{ м;}$$

$$S_{2\kappa} = \frac{4,17(60^2 - 40^2)}{80,4 - 10} = 118,5 \text{ м;}$$

$$S_{3\kappa} = \frac{4,17(40^2 - 20^2)}{98,28 - 10} = 56,6 \text{ м;}$$

$$S_{4\kappa} = \frac{4,17 \cdot 20^2}{116,32 - 10} = 15,7 \text{ м;}$$

$$S = S_{1\kappa} + S_{2\kappa} + S_{3\kappa} + S_{4\kappa} = 206 + 118,5 + 56,6 + 15,7 = 396,8 \cong 397 \text{ м.}$$

$$S_{\pi} = 1,4 \cdot 80 = 112 \text{ м и } S = S_{\kappa} + S_{\pi} = 397 + 112 = 509 \text{ м.}$$

Для электросекции, принимая величину тормозных сил равной тары, будем иметь:

$$\vartheta = \frac{132 \cdot 0,7}{164} = 0,563;$$

$$\varphi_{\kappa} = 0,24 - 0,0015V$$

$$b_{\kappa} = 1000 \cdot 0,563 (0,24 - 0,0015V) = 135 - 0,845V$$

Удельное сопротивление движению моторвагонных поездов определяем по уравнению:

$$w_0 = 1,83 + 0,015V + \frac{0,0053 \cdot A \cdot V^2}{P + Q} (K + 0,015 \cdot n \cdot L), \quad (16)$$

$A$  — площадь лобовой поверхности  $\cong 10 \text{ м}^2$ ,

$P + Q$  — вес секции, равный  $164 \text{ т}$ ,

$n$  — число вагонов в секции, равное  $3$ ,

$L$  — длина отдельного вагона, равная  $19,3 \text{ м}$ ,

$K$  — коэффициент зависимости от очертания лобовой стенки; при плоской стенке он равен  $1,0$ .

После подстановки приведенных выше величин в уравнение (16) получим:

$$\begin{aligned} w_0 &= 1,83 + 0,015V + \frac{0,0053 \cdot 10 \cdot V^2}{164} (1 + 0,015 \cdot 3 \cdot 19,3) = \\ &= 1,83 + 0,015V + 0,0006V^2. \end{aligned}$$

Разбив изменение скорости секции от  $60$  до  $0 \text{ км/ч}$  на интервалы по  $20 \text{ км/ч}$ , определяем замедляющие усилия для средних скоростей  $50$ ,  $30$  и  $10 \text{ км/ч}$ ; они будут равны:

км/ч	$w_0 = 1,83 + 0,015V + 0,0006V^2$	$b_{\kappa} = 135 - 0,845V$	$w_0 + b_{\kappa}$
50	4,08	92,75	96,83
30	2,82	109,65	112,47
10	2,04	126,55	128,59

Для отдельных интервалов элементы тормозного пути будут:

$$S_{1\kappa} = \frac{4,17 (60^2 - 40^2)}{96,83 - 10} = 96 \text{ м.}$$

$$S_{2\kappa} = \frac{4,17 (40^2 - 20^2)}{112,47 - 10} = 48,8 \text{ м.}$$

$$S_{3\kappa} = \frac{4,17 \cdot 20^2}{128,59 - 10} = 14,1 \text{ м.}$$



Расчетный путь торможения для секции будет:

$$S = (S_{1н} + S_{2н} + S_{3к}) + S_{з} = 96 + 48,8 + 14,1 + 1,4 \cdot 60 = 242,9 \cong 243.$$

Таким образом по тормозному пути дальнего поезда мы должны иметь блок-участки не короче 509 м, в то время как для пригородных секций они не должны быть менее только 243 м; при участках более 509 м движение секций будет излишне замедляться, почему целесообразно иметь перед закрытым светофором два предупредительных показания: одно — на расстоянии большем 509 м в виде двух желтых огней, сигнализирующих дальнему поезду о необходимости торможения, чтобы остановиться не проехав закрытого светофора, но не требующих замедления электросекции, и второе — на расстоянии не менее 243 м, сигнализирующее о необходимости торможения также и секции. Таким образом на данном участке, как вытекает из расчета, целесообразно применить четырехзначные перегонные сигналы, дающие показания огней: красный, желтый, два желтых и зеленый.

**Задача 5.** На участке пригородного движения установлены автостопы индуктивного действия, снабженные рукоятками предварительного действия (бдительности) с выдержкой в 6 сек. Обращающиеся на участке составы состоят из моторвагонных секций, указанных в предыдущей задаче. Определить, на каком расстоянии от светофоров должны быть установлены индукторы автостопа, чтобы после выдержки в 6 сек. автоматическим действием тормозов секция была остановлена, не проехав последующего сигнала. Условия профиля те же, что в предыдущей задаче.

**Решение.** При движении 3-вагонной секции по условиям предыдущей задачи требуется расчетный тормозной путь в 243 м. Так как до наступления автоматического торможения дается выдержка в 6 сек., позволяющая машинисту предупредить автоматическое действие тормозов, то индуктор автостопа надо будет поставить от сигнала на расстоянии большем чем 243 м на столько метров, сколько секция пройдет за 6 сек. При скорости секции в 60 км/ч в 6 сек. будет пройдено

$$l = \frac{60000 \cdot 6}{3600} = 100 \text{ м.}$$

Следовательно, индуктор должен быть установлен на расстоянии

$$243 + 100 = 343 \text{ м.}$$

**Задача 6.** В целях повышения пропускной способности, помимо устройства автоблокировки, на участке с уклоном в 10‰ проводится смягчение профиля, в связи с чем уклон снижается до 6‰.

Определить графическим построением по методу Липеца, на сколько изменится расчетный тормозной путь после смягчения профиля и как это отразится на величине минимально возможного интервала в расположении следования поездов друг за другом по автоблокировочным сигналам.

Данные состава и паровоза:

Паровоз серии ЭУ с раздвижными золотниками.

Вес поезда 1400 т; число тормозных вагонов: 5 четырехосных на автотормозах и 8 двухосных на ручном торможении.

Решение. Для нахождения тормозного пути строим по методу Липеца кривые  $V = f(S)$ . Построение начинаем с проведения осей: а) ординат с масштабом  $m$ —для скоростей и б) абсцисс—с масштабом  $k$ —для сил (рис. 1). Величины указанных масштабов приняты:

$$m = 2 \text{ мм} = 1 \text{ км/ч} \quad \text{и} \quad k = 5 \text{ мм} = 1 \text{ кг/т};$$

при этих масштабах для пути получается масштаб:

$$n = \frac{120 \cdot m^2}{k} = \frac{120 \cdot 4}{5} = 96 \text{ мм} = 1 \text{ км}.$$

Далее в указанных координатах строится кривая замедляющих усилий  $w_0 + b_{\kappa}$ , для чего предварительно необходимо рассчитать значения  $w_0 + b_{\kappa}$  при разных скоростях (принимая от 0 до 50 км/ч с интервалами через 10 км/ч).

Тормозной коэффициент определяется равным:

$$\varphi = \frac{\Sigma X}{P + Q} = \frac{130 \cdot 0,3 + 5 \cdot 14,7 + 8 \cdot 7,2 \cdot 0,6}{130 + 1400} = \frac{147}{1530} = 0,096;$$

далее определяем:

$$b_{\kappa} = 1000 \cdot \varphi_{\kappa} \cdot \varphi = 1000 (0,24 - 0,0018V) \cdot 0,096 = 23 - 0,173V. \quad (17)$$

и

$$w_{\text{оср}} = \frac{Pw_0' + Qw_0''}{P + Q} = \frac{130(3 + 0,15V) + 1400(1,5 + 0,05V)}{130 + 1400} = 1,625 + 0,0585V. \quad (18)$$

Подставляя различные значения  $V$  в уравнения (17) и (18), рассчитываем значения  $w_{\text{оср}}$ ,  $b_{\kappa}$  и их сумму для скоростей от 0 до 50 км/ч через каждые 10 км/ч; результаты расчетов приведены в следующей таблице:

$V$	$w_{\text{оср}}$	$b_{\kappa}$	$w_{\text{оср}} + b_{\kappa}$
0 .	1,625	23	24,625
10 .	2,21	21,27	23,48
20 .	2,795	19,54	22,335
30 .	3,38	17,81	21,19
40 .	3,965	16,08	20,045
50 .	4,55	14,35	18,9

По найденным значениям  $w_{\text{оср}} + b_{\kappa}$  строится кривая замедляющих усилий (АЕ на рис. 1). Через середины отрезков кривой АЕ, прихо-



дящихся между линиями, проведенными через каждые 10 км/ч (т. е. через точки  $a, б, в, г$  и  $д$ ), проводим из точки  $к$ , соответствующей уклону  $i = -10^0/00$ , ряд лучей  $КУ, КФ, КХ, КЦ, КЧ$ ; далее из произвольно выбранной точки  $М$  проводим линию  $МН$ , перпендикулярную к лучу  $КЧ$ , до пересечения с горизонтальной линией  $БН$ , соответствующей скорости 10 км/ч; отрезок  $МН$  является первым членом кривой  $V = f(S)$ .

Аналогично с предыдущим из точки  $Н$  проводим до точки  $П$  отрезок  $НП$ , перпендикулярный к лучу  $КЦ$ , и затем аналогичным

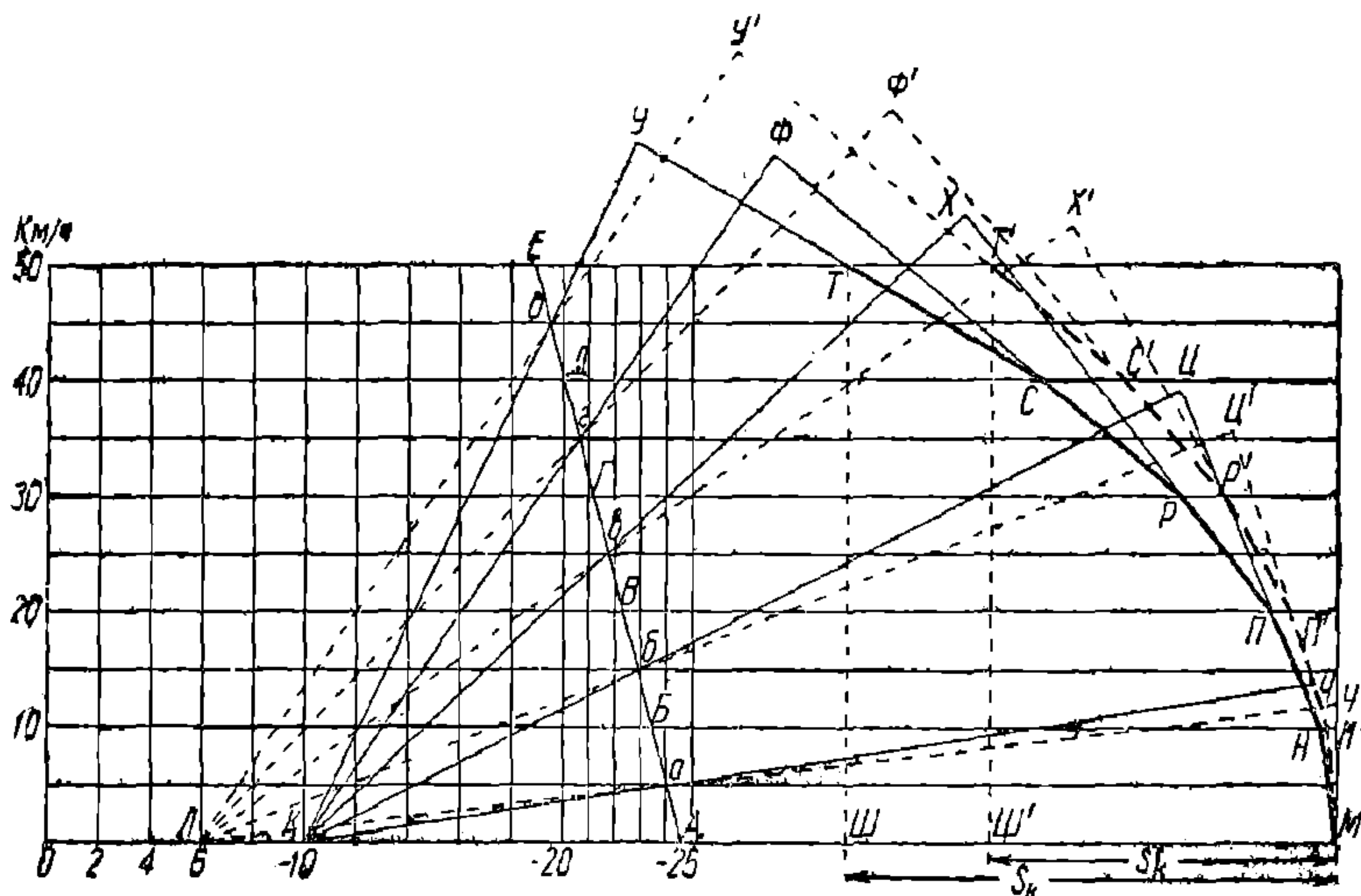


Рис. 1. Графический расчет тормозных путей.

образом последовательно строим отрезки  $ПР \perp КХ$ ,  $РС \perp КФ$  и, наконец,  $СТ \perp КУ$ . Получившаяся кривая  $МНПРСТ$  и будет искомой кривой  $V = f(S)$ . Опустив из точки  $Т$  перпендикуляр  $ТШ$  на ось абсцисс, мы на последней получим отрезок  $МШ$ , изображающий в масштабе пути расстояние, которое пройдет поезд, заторможенный в точке  $Т$ , до полной остановки, т. е. получим тормозной путь  $S_k$ ; измерив отрезок  $МШ$ , найдем, что он равен 94,5 мм; так как масштаб пути равен  $96 \text{ мм} = 1000 \text{ м}$ , то

$$МШ = \frac{1000 \cdot 94,5}{96} = 985 \text{ м.}$$

Расчетный тормозной путь будет равен:

$$S = S_n + S_k = 985 + 7 \cdot 50 = 1335 \text{ м.}$$

После смягчения профиля уклон будет равен  $6^0/00$ ; для этого случая аналогичным образом строим кривую  $V = f(S)$ , проводя лучи уже не из точек  $К$ , а из точки  $Л$  (лучи  $ЛУ', ЛФ', ЛХ'$  и т. д.). Полученная кривая будет  $М'Н'П'Р'С'T'$ ; перпендикуляр из  $Т'$  на ось

абсцисс определит  $S_x' = M\Pi' = 67$  мм; после перевода по масштабу пути найдем

$$S_x' = \frac{67 \cdot 1000}{96} = 698 \text{ м};$$

$$S' = 698 + 350 = 1048 \text{ м}.$$

При расположении поездов и сигналов по рис. 2 мы будем иметь расстояние между головами следующих друг за другом поездов равным:

$$L = l_a + 2l_{\delta a} + z + l_n \quad (19)$$

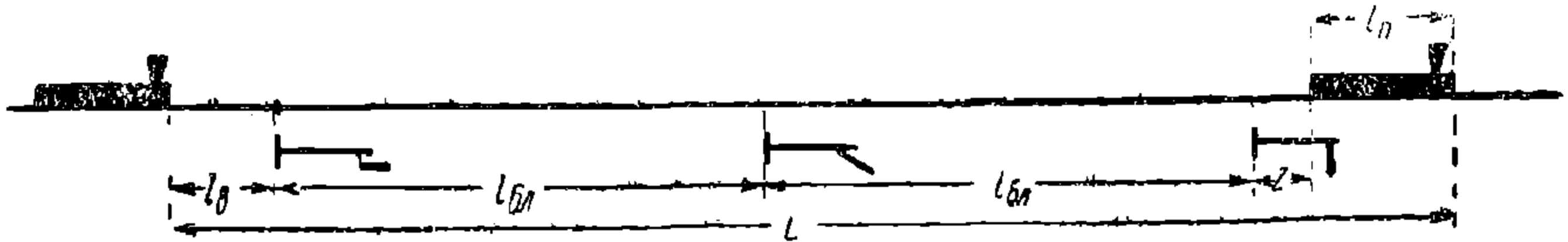


Рис. 2. План блок-участка.

где:

- $l_a$  — необходимое расстояние для восприятия сигнала;
- $l_{\delta a}$  — длина блок-участка;
- $z$  — гарантийное расстояние  $\cong 100$  м;
- $l_n$  — длина поезда.

Для заданного состава  $l_n$  будет равно:

а) длина паровоза . . . . .	40 м
б) 12 четырехосных вагонов по 14 м . . . . .	168 м
в) 66 двухосных вагонов по 8 м . . . . .	528 м
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	
Всего	736 м

При указанном расстоянии  $L$  интервал между поездами определится таким образом:

$$J = \frac{l_a}{V} + \frac{2l_{\delta a} + z + l_n}{V} \quad (20)$$

Принимая  $\frac{l_a}{V} = 1/2$  минуты и подставляя во второй член уравнения величины  $l_{\delta a} = S$  или  $S'$ ,  $z = 100$  м и  $l_n = 736$  м, получим минимальные интервалы между поездами:

а) при уклоне  $10\text{‰}$

$$J = \frac{1}{2} + \frac{60(2 \cdot 1,335 + 0,1 + 0,736)}{50} = 4,7 \text{ мин.},$$

б) при смягченном уклоне  $6\text{‰}$

$$J = \frac{1}{2} + \frac{60(2 \cdot 1,048 + 0,1 + 0,736)}{50} = 4 \text{ мин.}$$



Из полученных результатов видим, что при смягченном профиле возможны более частые следования поездов (интервал на 17,5 меньше).

#### **ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ,**

1. Тормозной справочник. Трансжелдориздат, 1933.
  2. Справочник эксплуатационника. Трансжелдориздат, 1933.
  3. Егорченко. Тяговые расчеты. Трансжелдориздат, 1934.
  4. Оппенгейм. Задачи и расчеты по тяговым расчетам. Гострансиздат, 1932.
  5. Лучай. Тяговые расчеты при электрической тяге. Гострансиздат, 1932.
  6. Лебедев. Расчеты элементов электрических железных дорог. Кубуч, 19
- 

НТБ  
ДНУЖТ

## II РАСЧЕТ ВИДИМОСТИ СВЕТОФОРОВ

Видимость несветящихся сигналов (например, крыла семафора) в весьма большой степени зависит: а) от условий естественного освещения их, б) от окружающего фона, в) от отражательной способности, цвета окраски и формы сигнализирующего тела, г) прозрачности атмосферы и прочих условий. Учет факторов, влияющих на видимость указанных сигналов, весьма затруднителен, и потому обычно расчета видимости этих сигналов не производят, а устанавливают ее экспериментально (путем опытных поездок на паровозе). Что касается самосветящихся сигналов круглосуточного действия (светофоров), то в отношении расчета их видимости есть достаточно данных, могущих обеспечить приемлемую степень точности расчета, вполне удовлетворяющую требованиям практики. Основой для расчета видимости является формула:

$$I_2 = \nu \cdot R^2 \cdot a^{-R} \cdot 10^6 \text{ св} \quad (21)$$

где:

- $I_2$  — сила света сигнального луча,
- $\nu$  — коэффициент видимости, зависящий от условий адаптации глаза, от контрастности окружающего фона и других обстоятельств;
- $R$  — расстояние видимости в км;
- $a$  — коэффициент прозрачности атмосферы.

Значение  $\nu$  определяется экспериментально; по опытам Института сигнализации и связи НКПС нижние пределы значений коэффициента видимости установлены для летнего солнечного дня равными:

- а) для красного огня  $\nu = 500 \cdot 10^{-6}$  лк;
- б) для желтого огня  $\nu = 1000 \cdot 10^{-6}$  лк;
- в) для зеленого огня  $\nu = 900 \cdot 10^{-6}$  лк.

Для обеспечения видимости против указанных значений желательно иметь некоторый запас. Значение коэффициента видимости для облачного дня можно принимать равным 60—75% коэф. видимости для солнечного дня; для зимнего солнечного дня при ослеп-

ляющем действии снега значения коэффициента видимости следует брать выше, чем для летнего солнечного дня ( $\sim 120\%$ ).

Прозрачность атмосферы подвержена изменениям в течение года, а также зависит от местных условий и погоды (в промышленных районах, при ветренной погоде прозрачность понижается за счет дыма, пыли, повышенной влажности и т. п.).

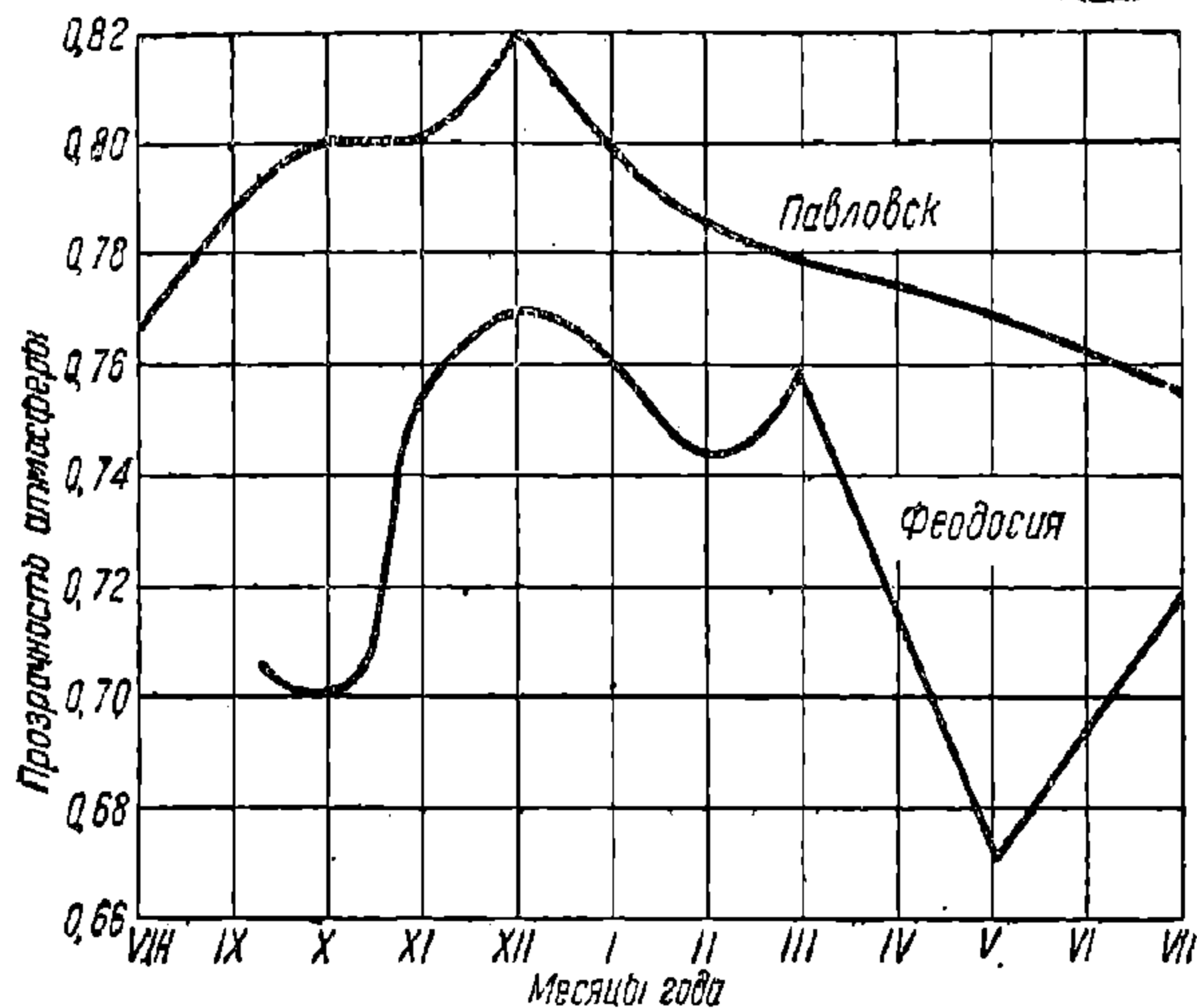


Рис. 3. Кривые прозрачности атмосферы.

Изменение прозрачности в двух разных пунктах в течение года иллюстрируется кривыми рис. 3.

Формула (21) легко может быть построена в виде номограммы, облегчающей дальнейшие расчеты. Такая номограмма приведена в приложении IV.

Сила света  $I_2$  сигнального луча создается за счет силы света  $I_1$  источника освещения посредством применения

оптической системы, дающей усиление  $S$ ; при окраске луча посредством светофильтров из всего падающего на оптическую систему светового потока используется в виде оптического сигнала только часть; отношение используемого потока к падающему называется суммарной пропускной способностью или коэффициентом  $D_{\Sigma}$ .

Из сказанного вытекает следующая зависимость между  $I_1$  и  $I_2$ :

$$I_2 = I_1 \cdot S \cdot D_{\Sigma}. \quad (22)$$

Усиление оптической системы светового фонаря может быть определено разными способами (при этом  $D_{\Sigma}$  принимается равным 1)

а) 
$$S = \frac{I_2}{I_1}, \quad (23)$$

б) 
$$S = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \tau = \frac{1 - \cos \frac{\theta_1}{2}}{1 - \cos \frac{\theta_2}{2}} \cdot \tau, \quad (24)$$

где:

- $\omega_1$  — телесный угол обхвата линзой источника света (в стерадианах);
- $\omega_2$  — телесный угол рассеяния сигнального пучка;



$\theta_1$  и  $\theta_2$  — плоские углы при вершине конуса, соответствующие углам  $\omega_1$  и  $\omega_2$ ;

$\tau$  — коэффициент поглощения оптической системы для белого света ( $\approx 0,8$ ).

Зависимость телесного и плоского углов выражается формулой:

$$\omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right). \quad (25)$$

Значения  $D_{\Sigma}$  находятся либо опытным путем (на фотометре), либо могут быть рассчитаны по данным:

а) кривой спектральной пропускания фильтра (кривая  $D_{\lambda}$ );

б) кривым относительной видимости среднего глаза (кривая  $V_{\lambda}$ );

в) кривым распределения излучения для данного источника света (кривая  $E_{\lambda}$ ).

Нахождение  $D_{\Sigma}$  (расчетом) сводится к нахождению следующего отношения:

$$D_{\Sigma} = \frac{\int_{0,4}^{0,7} E_{\lambda} \cdot D_{\lambda} \cdot V_{\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{0,4}^{0,7} E_{\lambda} \cdot V_{\lambda} \cdot d\lambda}. \quad (26)$$

Интегрирование обычно производится графически — подсчетом площадей, ограниченных кривыми (планиметрированием).

Пределы интегрирования — на протяжении видимой части спектра (волны от 0,4 до 0,7  $\mu$ ).

Для характеристики цветовой окраски светофильтров удобно пользоваться цветовым треугольником Максвелла. Зависимость коэффициента пропускания от толщины светофильтра выражается формулой:

$$\frac{\lg \tau'}{\lg \tau} = \frac{X'}{X},$$

где:

$\tau'$  и  $\tau$  — коэффициенты пропускания и  $X'$  и  $X$  — толщины.

Применение сказанного будет иллюстрировано в последующих задачах.

**Задача 7.** Построить номограмму видимости по формуле (21) для желтого стекла, принимая:

а) для зимнего времени  $\nu = 1200 \cdot 10^{-6}$  лк;

б) прозрачность атмосферы  $a = 0,75$ .

*Решение.* Построение номограммы сводится к построению кривой  $I = f(R)$ , причем наиболее удобно указанное построение производить на сетке с логарифмической шкалой (логарифмической бумаге). Подставив в формулу (21) данные величины  $\nu$  и  $a$ , получим:

$$\begin{aligned} I_2 &= 1200 \cdot 10^{-6} \cdot R^2 \cdot 0,75^{-R} \cdot 10^6 = 1200 \cdot R^2 \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^{-R} = \\ &= 1200 \cdot R^2 \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^R. \end{aligned} \quad (27)$$

Величину  $\left(\frac{4}{3}\right)^R$  можно разложить в бесконечно убывающий ряд следующего вида:

$$\begin{aligned} \left(\frac{4}{3}\right)^R = 1 + \left(\ln \frac{4}{3}\right) \cdot R + \frac{\left(\ln \frac{4}{3}\right)^2}{2!} \cdot R^2 + \frac{\left(\ln \frac{4}{3}\right)^3}{3!} \cdot R^3 + \\ + \frac{\left(\ln \frac{4}{3}\right)^4}{4!} R^4 \text{ и т. д.} \end{aligned} \quad (28)$$

Натуральный логарифм  $\frac{4}{3}$  по таблицам равен:

$$1,3863 - 1,0986 = 0,2877.$$

Подставив  $\left(\ln \frac{4}{3}\right)$  и ряд (28) в уравнение (27), получим:

$$I_2 = 1200 R^2 \left( 1 + 0,2877 R + \frac{0,2877^2}{2} \cdot R^2 + \frac{0,2877^3}{6} \cdot R^3 + \right. \\ \left. + \frac{0,2877^4}{24} R^4 \right)$$

или

$$I_2 = 1200 \cdot R^2 + 1200 \cdot 0,2877 \cdot R^3 + 600 \cdot 0,2877^2 \cdot R^4 + \\ + 200 \cdot 0,2877^3 \cdot R^5 + 50 \cdot 0,2877^4 \cdot R^6 \text{ и т. д.} \quad (29)$$

Подставляя в уравнение (29) значения  $R$ , начиная, допустим, от 0,25 до 2 км (через 0,25 — 0,5), получим ряд значений для  $I_2$ , соответствующих значениям  $R$ , по которым и может быть построена кривая  $I_2 = f(R)$ .

Значения:						
$R$ в км. . . . .	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2
$I_2$ в св.	81	347	876	1600	4182	8506

На рис. 4 изображена кривая  $I_2 = f(R)$ , построенная на логарифмической сетке по вышеприведенным данным; как видим, эта кривая очень близка к прямой.

**Задача 8.** Найти видимость, которую будет давать зеленый огонь светофора при следующих данных:

$$I_1 = 9 \text{ св.}; S = 800; D_{\Sigma} = 20\%; a = 0,75.$$

*Решение.* При указанных данных имеем:

$$I_2 = 9 \cdot 800 \cdot 0,2 = 1440 \text{ св.}$$

По номограмме приложения IV находим  $R = 1080 \text{ м.}$

Таким образом видимость обеспечивается с запасом сравнительно с требуемой минимальной (700 м на прямой).

**Задача 9.** Сигнальный огонь светофора при прозрачности атмосферы  $a = 0,85$  (на 1 км) имеет обеспеченную видимость на расстоянии  $R = 2$  км; определить, на каком расстоянии  $R_1$  указанный огонь будет виден при понижении прозрачности атмосферы до  $a_1 = 0,5 = \frac{1}{2}$  (на 1 км).

**Решение.** Сила света, необходимая для обеспечения видимости сигнала на расстоянии  $R$  км, определяется формулой:

$$I = \nu \cdot R^2 \cdot a^{-R} \cdot 10^6 \text{ св.}$$

Применяя формулу для расстояний  $R$  и  $R_1$  и прозрачностей атмосферы  $a$  и  $a_1$  и считая, что для одинаковой обеспеченности видимости сила света в обоих случаях должна быть одинаковой, можем написать равенство:

$$\nu \cdot R^2 \cdot a^{-R} \cdot 10^6 = \nu \cdot R_1^2 \cdot a_1^{-R_1} \cdot 10^6,$$

откуда после сокращения получим уравнение:

$$R_1^2 \cdot a_1^{-R_1} = R^2 \cdot a^{-R}.$$

Подставив в последнее уравнение данные величины  $R$ ,  $a_1$  и  $a$ , будем иметь:

$$R_1^2 \cdot a_1^{-R_1} = 2 \cdot 0,85^{-2} = 5,54,$$

$$R_1^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{-R_1} = R_1^2 \cdot 2^{R_1} = 5,54. \quad (30)$$

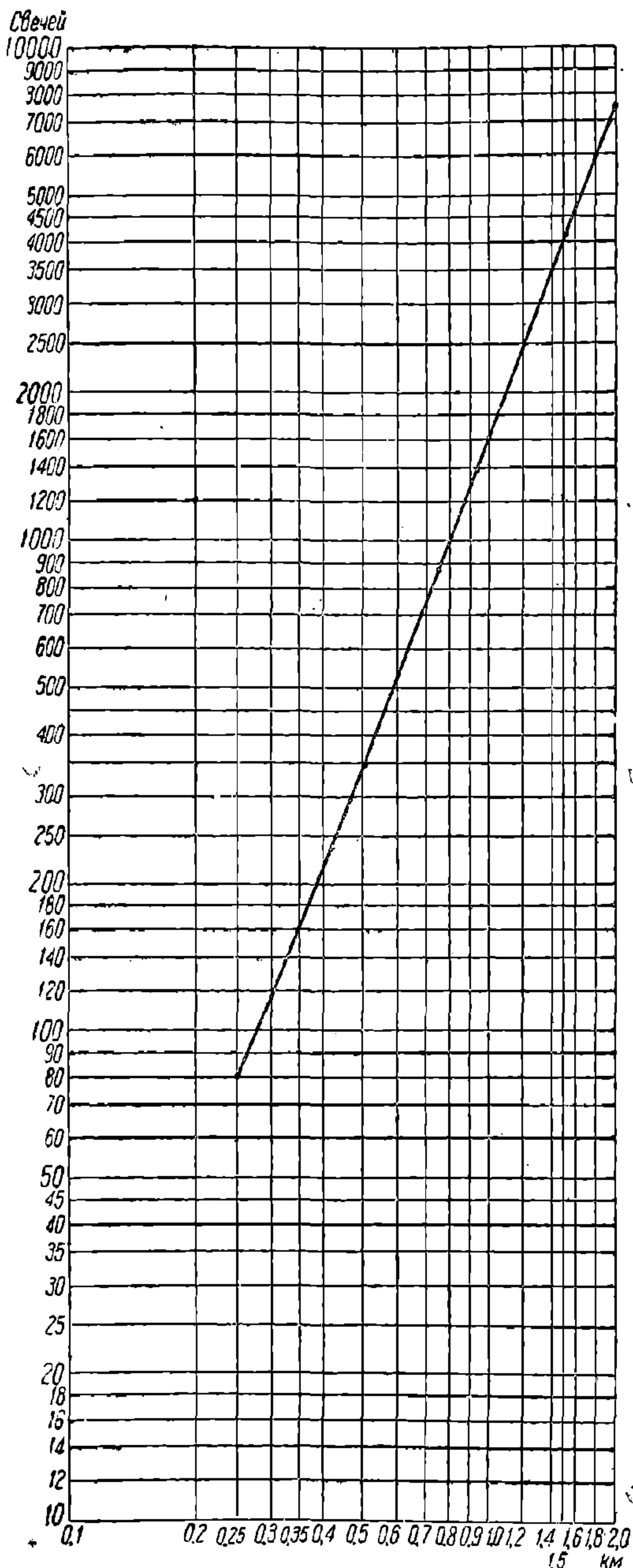


Рис. 4. График видимости светофора.



Выражение  $2^{R_1}$  может быть разложено в бесконечный убывающий ряд следующего вида:

$$2^{R_1} = 1 + \ln 2 \cdot R_1 + \frac{(\ln 2)^2}{2!} \cdot R_1^2 + \frac{(\ln 2)^3}{3!} R_1^3 \text{ и т. д.} \quad (31)$$

Подставляя (31) в уравнение (30) при  $\ln 2 = 0,693$ , получаем:

$$R_1^2 \left( 1 + 0,693 \cdot R_1 + \frac{(0,693)^2 \cdot R_1^2}{2} + \frac{(0,693)^3 \cdot R_1^3}{6} + \frac{(0,693)^4 \cdot R_1^4}{24} \right) = 5,54$$

или:

$$R_1^2 + 0,693 R_1^3 + 0,24 R_1^4 + 0,055 R_1^5 + 0,009 R_1^6 \dots - 5,54 = 0. \quad (32)$$

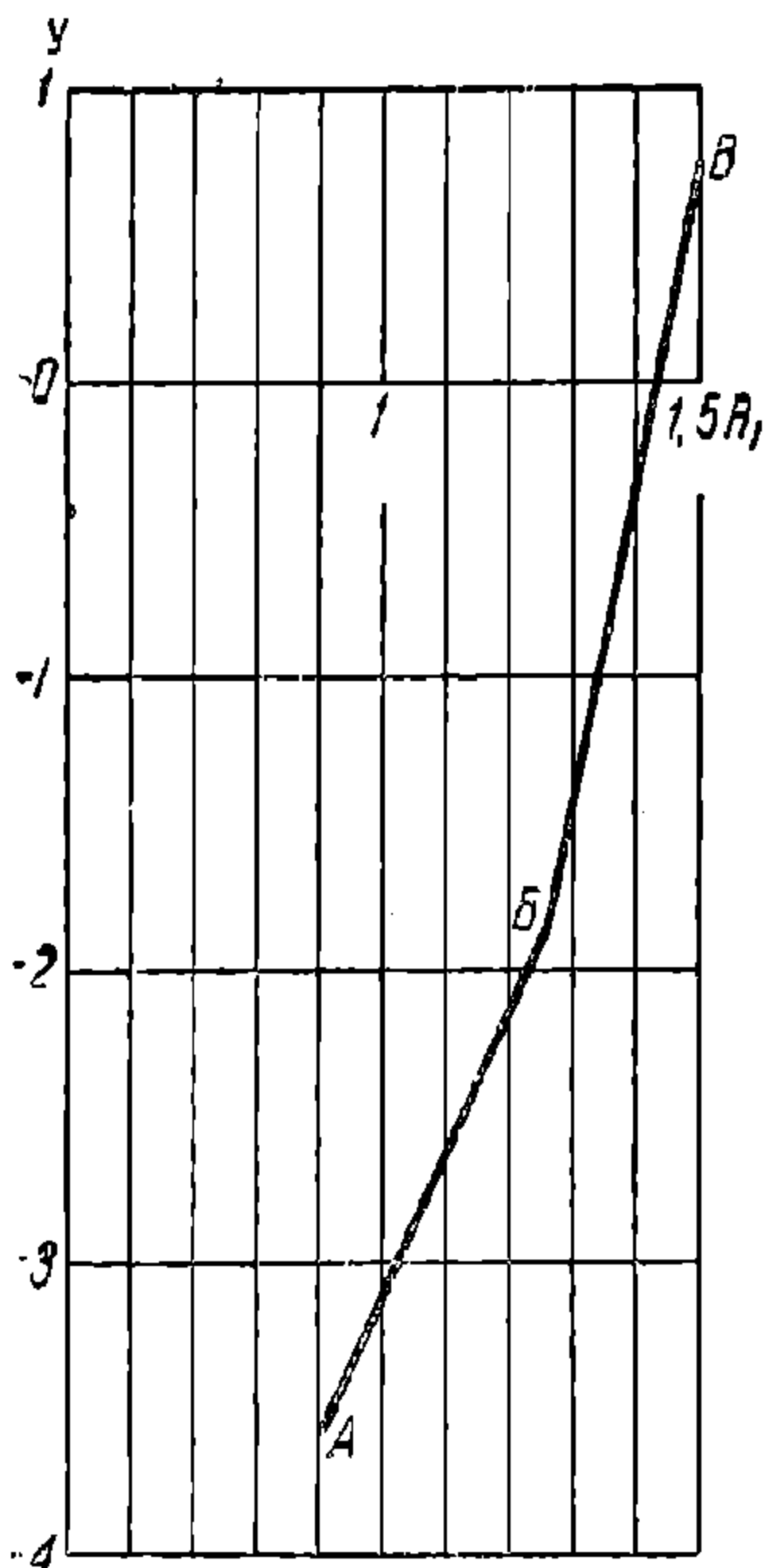


Рис. 5. График к задаче 7.

Корень уравнения (32) находим графически, подставляя последовательно в уравнение значения  $R_1 = 1, 1,25, 1,5$  и т. д. Таким образом находим соответствующие ординаты:

при $R_1 = 1,$	$V' = -3,55,$
при $R_1 = 1,25$	$V'' = -1,87,$
при $R_1 = 1,5$	$V''' = +0,76.$

Строя по  $R_1$  и ординатам  $V$  кривую (ломаную) линию  $ABB$  (рис. 5), находим, что она пересекает ось абсцисс в точке, имеющей абсциссу 1,43; это и будет искомая величина  $R_1 = 1,43$  км. Таким образом видимость с 2 км снизилась до 1,43 км вследствие понижения прозрачности воздуха (ветреная погода, пыль, воздух насыщен водяными парами и т. п.).

**Задача 10.** Определить, какая видимость зеленого огня будет обеспечена в конце срока службы сигнальной лампы, если суммарная пропускаемость

светофильтра  $D_{\Sigma} = 15\%$ , коэффициент усиления оптической системы фонаря  $S = 650$  и средняя сферическая сила света новой лампы  $I_0$  составляет 8,75 св. Прозрачность атмосферы  $a$  на 1 км принимается равной 0,75.

**Решение.** К концу срока службы лампа нормально понижает силу света на 20%; следовательно, ее сила света будет:

$$I'_0 = I_0 \cdot 0,8 = 8,75 \cdot 0,8 = 7 \text{ св.}$$

Сила света, даваемая фонарем с данными светофильтром и усилением, будет равна:

$$I_2 = I'_0 \cdot S \cdot D_{\Sigma} = 7 \cdot 650 \cdot 0,15 = 682 \text{ св.}$$

По номограмме (приложение IV) находим видимость обеспеченной на расстоянии  $780 \text{ м} >$  нормы НКПС ( $700 \text{ м}$ ).

**Задача 11.** В светофорном фонаре с желтым светофильтром, дававшим силу света  $3200 \text{ св.}$ , был заменен светофильтр, при чем новый светофильтр имел ту же цветовую характеристику и пропускательность ( $0,24$ ), но был несколько толще (вместо  $2,4—3 \text{ мм}$ ).

Определить, на сколько изменится видимость светофора после замены светофильтров. Прозрачность атмосферы берется равной  $0,8$ .

*Решение.* Между коэффициентом пропускательности  $\tau$  и толщиной светофильтра  $X$  существует зависимость, выражаемая формулой:

$$\frac{\lg \tau'}{\lg \tau} = \frac{X'}{X}$$

или

$$\tau' = \tau^{\frac{X'}{X}} \quad (33)$$

где  $\tau'$  и  $X'$ —новые коэффициент пропускательности и толщина светофильтра.

Вставляя в формулу (33) значения  $\tau$ ,  $X$  и  $X'$ , получим:

$$\tau' = 0,2^{\frac{3}{2,4}} = 0,2^{1,25} = 0,134.$$

Принимая, что сила света изменится пропорционально изменению коэффициента пропускательности, найдем, что при новом светофильтре светофор будет давать силу света:

$$3200 \cdot \frac{0,134}{0,2} = 2145 \text{ св.}$$

По номограмме (приложение IV) находим, что до замены светофильтра видимость светофора была обеспечена на  $1,56 \text{ км}$ , а после замены светофильтра — на  $1,26 \text{ км}$ . Полученные результаты указывают на важность соблюдения не только цветовых характеристик светофильтров, но и их толщины.

**Задача 12.** Исследованиями установлено, что если сдвинуть нить лампы с правильного положения ее в фокусе оптической системы светофорного фонаря, то сила света светофора резко уменьшается, как это изображено на рис. 6. Определить, на сколько уменьшится видимость красного огня светофора, обеспеченная при правильной установке лампы на  $1,2 \text{ км}$ , если благодаря неправильной напайке центрировочного кольца на цоколь новой лампы нить ее оказалась после установки лампы сдвинутой с фокуса на  $2,5 \text{ мм}$ . Прозрачность атмосферы  $a$  принимается равной  $0,85$ .

*Решение.* По кривой рис. 6 видно, что при отклонении нити лампы от фокуса на  $2,5 \text{ мм}$  сила света уменьшается до  $73\%$ .

Вставляя в формулу (21) вместо  $I$  получившуюся пониженную силу света  $0,73 I$ , получаем уравнение:

$$0,73 I = \nu \cdot R_1^2 \cdot a^{-R_1} \cdot 10^6. \quad (34)$$

Для ранее же бывшего состояния, при котором была обеспечена видимость в 1,2 км, можно написать подобное же уравнение:

$$I = \nu \cdot R^2 \cdot a^{-R} \cdot 10^6 = \nu \cdot 1,2^2 \cdot a^{-1,2} \cdot 10^6. \quad (35)$$

Разделив уравнение (34) на (35), получим уравнение:

$$R_1^2 \cdot a^{-R_1} = 0,73 \cdot 1,2^2 \cdot a^{-1,2},$$

которое и разрешается относительно  $R_1$ .

Для нахождения  $R_1$  возможно также воспользоваться номограммой (приложение IV). По номограмме видимость красного огня, равная 1,2 км, обеспечивается при силе света 880 св. Вследствие неправильной установки лампы сила света понизится до

$$0,73 \cdot 880 = 642 \text{ св.}$$

При последней величине силы света по номограмме находим искомую пониженную видимость; она будет равна 1,02 км; таким образом вследствие неправильной установки лампы произошло понижение видимости почти на

$$\left( \frac{1,2}{1,02} - 1 \right) \cdot 100 = 18\%.$$

**Задача 13.** В светофоре заменена линза новой, имеющей те же очертания и преломляющие поверхности, но сделанной из стекла с другим показателем преломления  $n_2$ , равным 1,6 (вместо  $n_1 = 1,57$  в бывшей ранее линзе). Определить, насколько указанная замена линзы повлияет на силу света, даваемую светофором, полагая, что в нем не производилось новой фокусировки лампы и что фокусное расстояние ранее стоявшей линзы  $F_1 = 175$  мм.

*Решение.* Согласно выводам оптики для собирающей линзы, толщиной стекла которой сравнительно с радиусами поверхностей можно пренебречь, для фокусного расстояния  $F$  имеется следующая формула:

$$\frac{1}{F} = (n - 1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (36)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  — радиусы оптических поверхностей.

Применив формулу (36) к ранее бывшей и вновь поставленной линзам, получим:

$$\frac{1}{F_1} = (n_1 - 1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

и

$$\frac{1}{F_2} = (n_2 - 1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

взяв отношение приведенных уравнений, найдем:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{(n_1 - 1)}{(n_2 - 1)};$$



подставляя в последнее уравнение данные величины  $F_1$ ,  $n_1$  и  $n_2$ , находим:

$$F_2 = 175 \cdot \frac{1,57 - 1}{1,6 - 1} = 166,4 \text{ мм.}$$

Разность  $F_1 - F_2 = 175 - 166,4 = 8,6 \text{ мм}$  показывает, что с установкой новой линзы (без новой фокусировки) лампа окажется сдвинутой с фокуса на 8,6 мм; по кривой рис. 6 мы видим, что в таком случае сила света, даваемая фонарем, будет составлять всего около 30% нормальной; полученный результат приводит к заключению о необходимости новой фокусировки лампы светофора и подчеркивает важность сохранения показателя преломления стекла линзы.

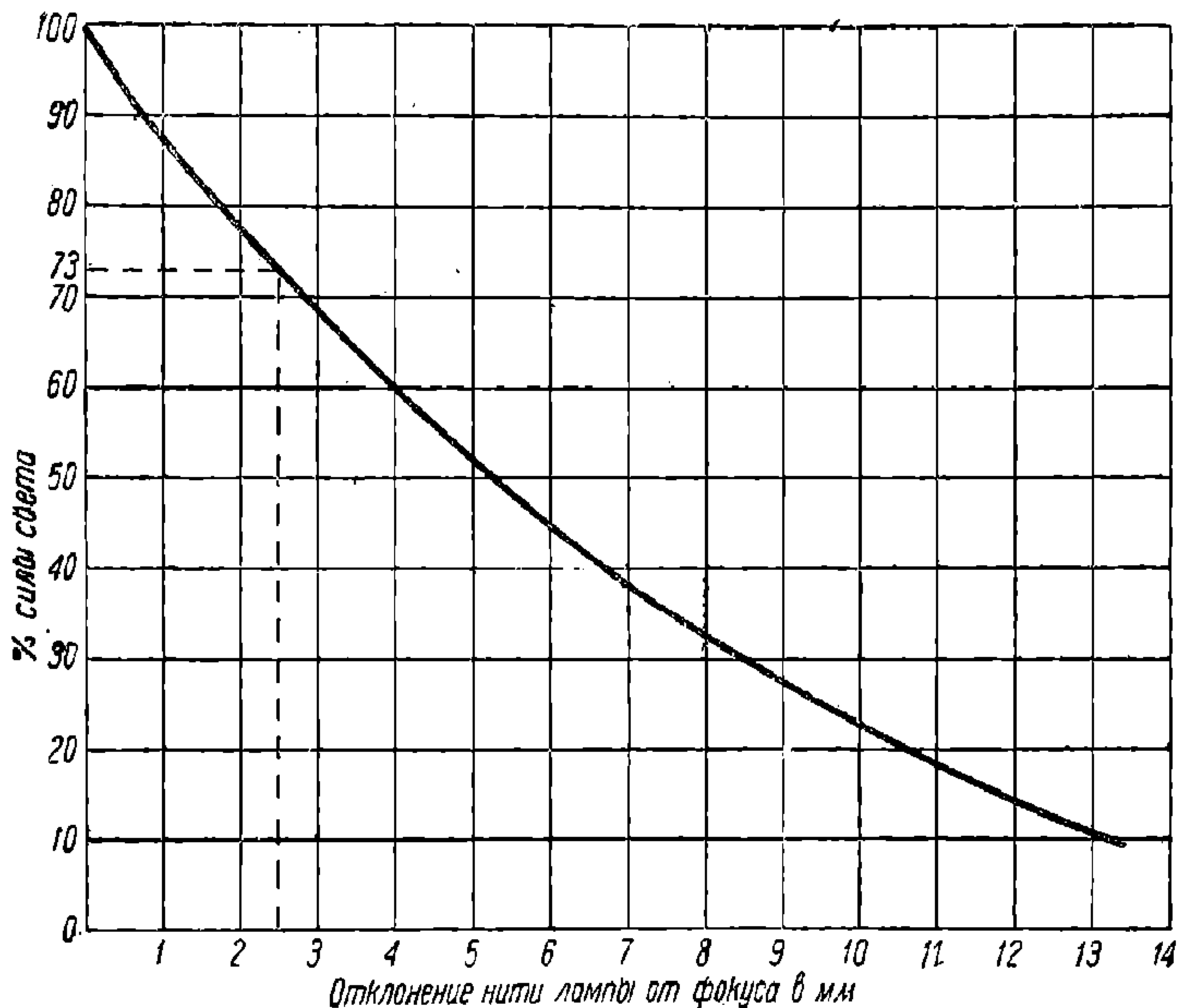


Рис. 6. Кривая силы света.

**Задача 14.** Определить к.п.д. оптической системы светофора дающего кривую светораспределения, указанную на рис. 7, при лампе со средней сферической силой света  $I_0 = 60 \text{ св.}$  Используемый угол рассеивания  $\theta$  принимается в пределах, ограниченных силой света в 50% максимальной силы света.

**Решение.** Решение задачи начинаем с определения используемого угла рассеивания (рис. 7); проведя параллельно оси абсцисс линию, соответствующую  $I_{max}/2$ , проектируем точки пересечения этой прямой с кривой светораспределения на ось абсцисс, где и от считываем используемый угол рассеивания; по построению  $\theta = 8,4$ . Затем определяем среднюю ординату для части кривой светораспределения, находящейся выше линии АБ, для чего планиметром или посредством накладывания миллиметровой кальки определяем

площадь фигуры (Q). в пределах угла  $\theta$ . Разделив Q на длину  $\Gamma D$ , находим искомую среднюю ординату, которая оказывается равной

$$I_{cp} = 12550 \text{ св.}$$

Зная  $\theta$  и  $I_{cp}$ , определяем используемый световой поток; он равен  $\omega \cdot I_{cp}$ , где  $\omega$  — телесный угол, соответствующий углу  $\theta$ ;  $\omega$  (в стерадианах)  $= 2\pi \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) = 2\pi (1 - 0,9973) = 0,01693$  стера-

диана;  $\omega \cdot I_{cp} = 0,01693 \cdot 12550 = 213 \text{ лм.}$

Полный поток, даваемый примененной сигнальной лампой, равен:

$$\Phi = 4\pi \cdot I_0 = 4\pi \cdot 60 = 754 \text{ лм.}$$

К.п.д. ( $\eta$ ) оптической системы светофора будет:

$$\eta = \frac{\omega \cdot I_{cp} \cdot 100}{4\pi \cdot I_0} = \frac{213 \cdot 100}{754} = 28,5\%$$

**Задача 15.** Определить коэффициент усиления оптической системы светофорного фонаря, указанного в предыдущей задаче, а также угол обхвата, которым должна обладать эта система.

*Решение.* Так как усиление системы

$$S = \frac{I_{cp}}{I_0},$$

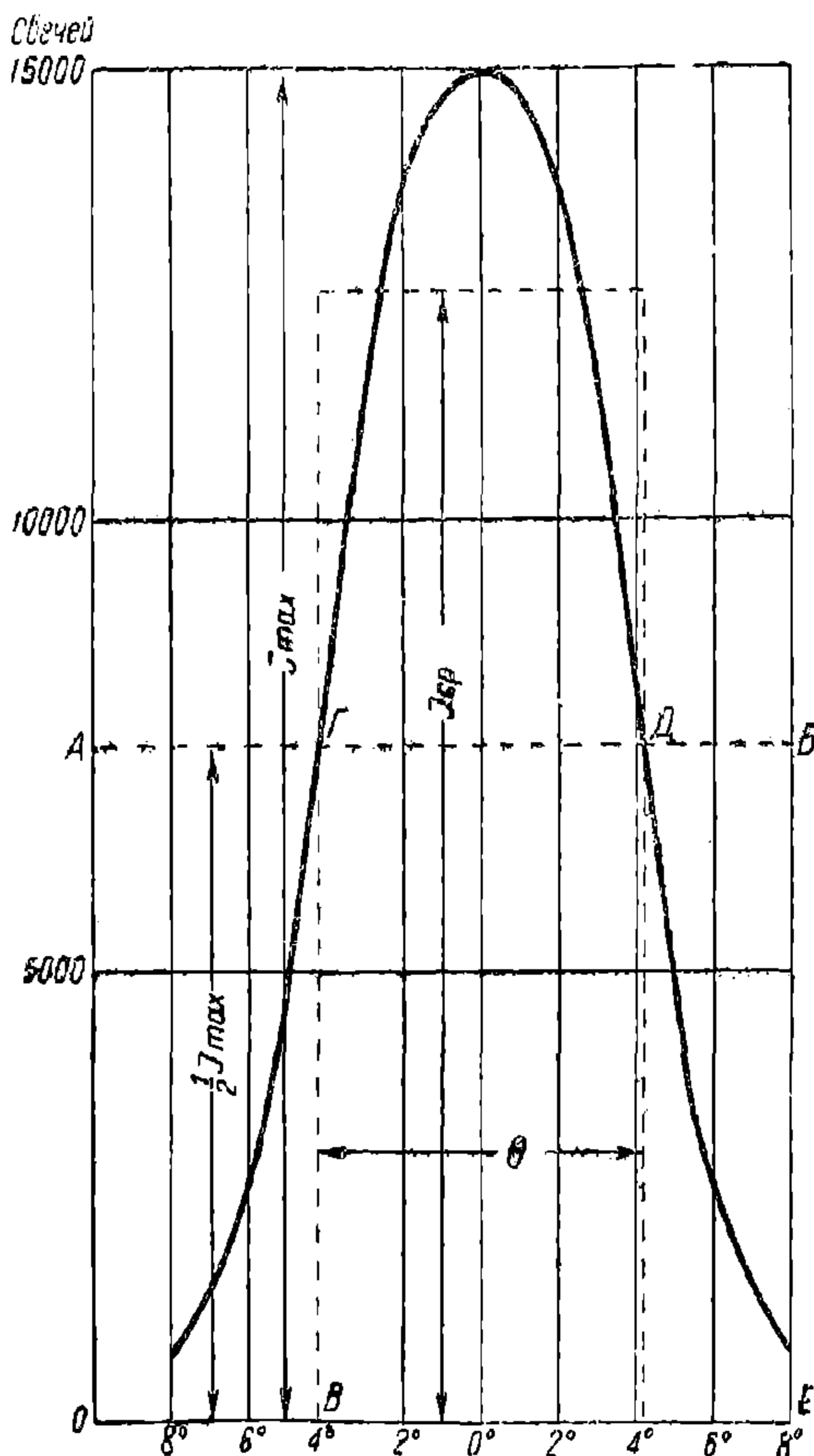


Рис. 7. Кривая светораспределения светофора.

то для оптической системы светофора, указанного в предыдущей задаче,

$$S = \frac{12550}{60} \approx 209.$$

С другой стороны, можно положить:

$$S = \frac{\omega_1}{\omega_2},$$

где  $\omega_1$  — телесный угол обхвата оптической системы и  $\omega_2$  — телесный угол исходящего светового пучка лучей. Последний угол по предыдущей задаче равен  $\cong 0,017$ стерадиана. Таким образом имеем:

$$S = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 209,$$

откуда

$$\omega_1 = 209 \cdot 0,017 = 3,55 \text{ стерадиан.}$$

Так как:

$$\omega_1 = 3,55 = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\theta_1}{2}\right),$$

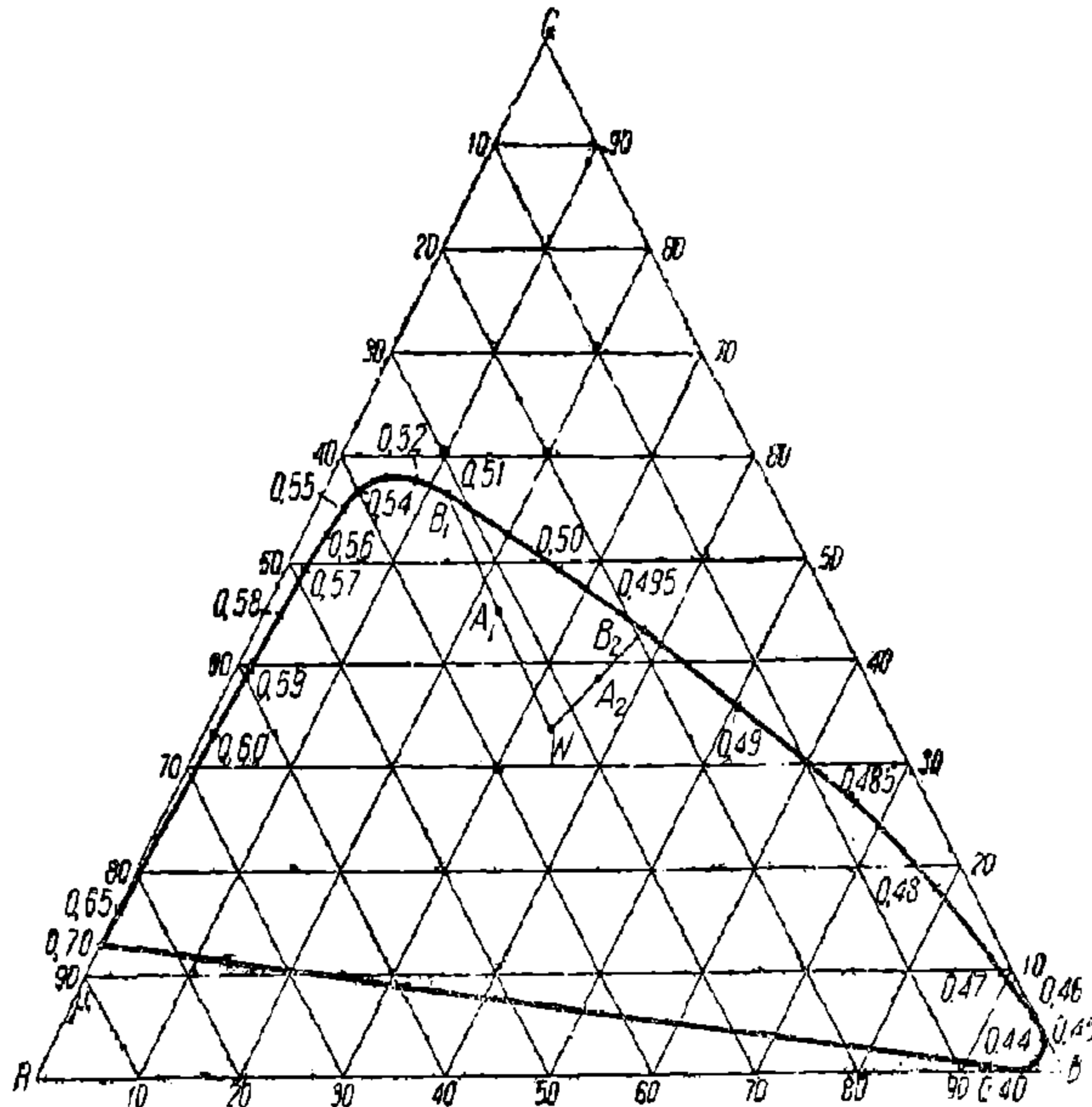


Рис. 8. Треугольник Максвелла.

где  $\theta_1$  — искомый угол обхвата, то из последнего уравнения находим  $\theta_1$ :

$$3,55 = 2\pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\theta_1}{2}\right); \quad 1 - \cos \frac{\theta_1}{2} = 0,565;$$

$$\cos \frac{\theta_1}{2} = 0,435; \quad \frac{\theta_1}{2} = 64,2^\circ.$$

$$\theta_1 = 128,4^\circ.$$

**Задача 16.** По общесоюзному стандарту на светофильтры сигнальные (ОСТ 3970) для зеленого светофильтра цветность определяется длиной волны основного светового излучения в пределах  $0,495 - 0,510 \mu$  и насыщенность не менее  $50\%$ . Определить положение приведенных цветов в треугольнике Максвелла.

**Решение.** Положение данных цветов светофильтров находим следующим образом: соединим точку W (центр треугольника, рис. 8),



соответствующую белому цвету, с точками  $B_1$  и  $B_2$ , соответствующими волнам основного цветового излучения  $0,510 \mu$  и  $0,495 \mu$ ; так как насыщенность ( $H$ ) должна быть не менее  $0,5$ , то на проведенных линиях  $WB_1$  и  $WB_2$  искомыми точками будут такие точки  $A_1$  и  $A_2$ , для которых будут соблюдены следующие соотношения отрезков:

$$\frac{WA_1}{WB_1} = 0,5 \quad \text{и} \quad \frac{WA_2}{WB_2} = 0,5.$$

По данным соотношениям, точки  $A_1$  и  $A_2$  будут лежать на середине линий  $WB_1$  и  $WB_2$ . По положению найденных точек в треугольнике видим, что цвет светофильтров, характеризующихся точкой  $A_1$ , будет иметь желтоватый оттенок, а точкой  $A_2$  — голубоватый оттенок.

**Задача 17.** Дан зеленый сигнальный светофильтр, характеризующийся кривой пропускания  $I$ , приведенной на рис. 9. Имея кривую поглощения (на  $1 \text{ км}$ ) света туманом, приведенную на

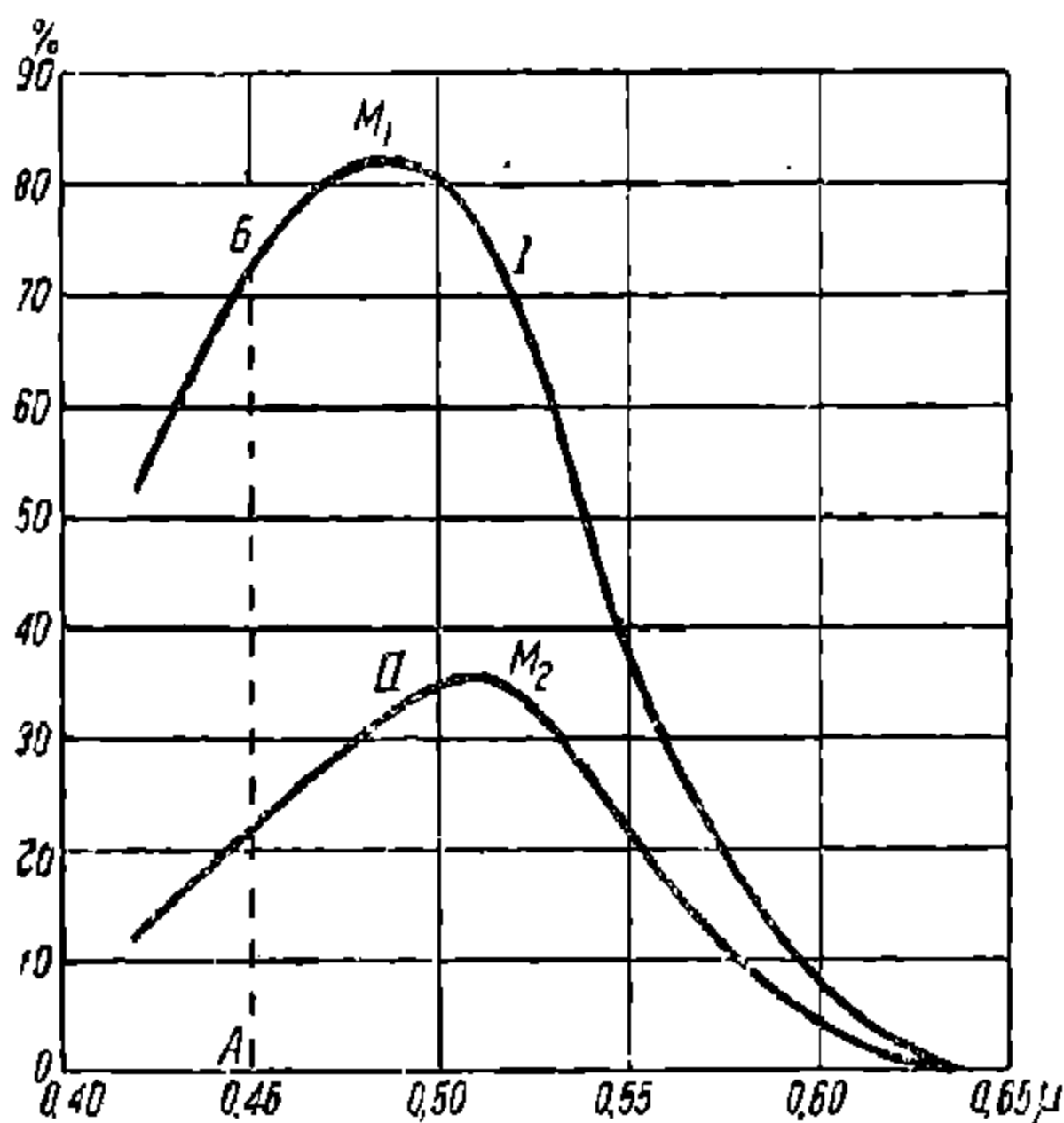


Рис. 9. Кривые пропускания.

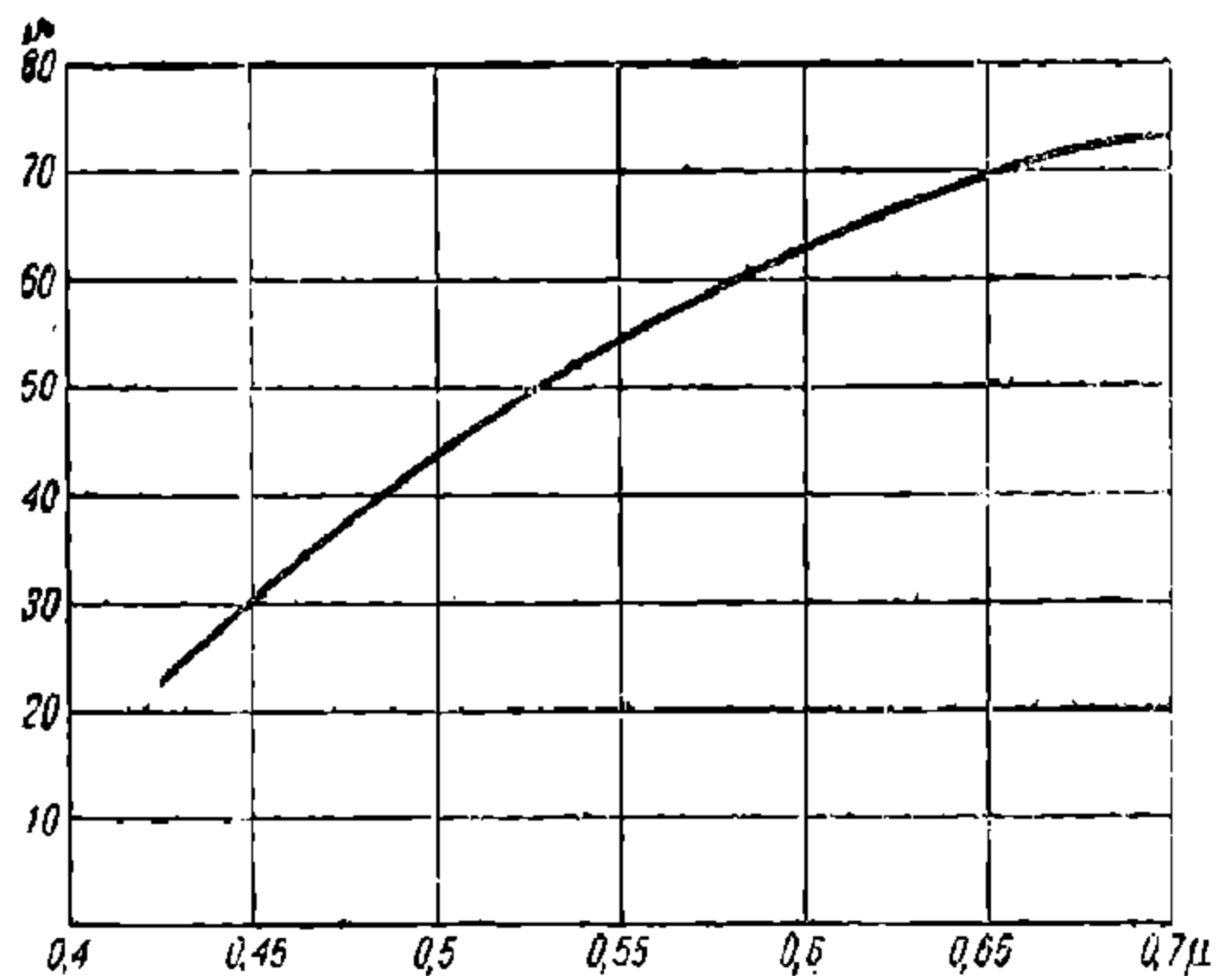


Рис. 10. Кривая поглощения туманом.

рис. 10, построить кривую пропускания сигнального пучка, окрашенного данным светофильтром после прохождения через туман на протяжении одного километра.

*Решение.* Построение кривой пропускания после прохождения зеленого сигнального пучка через слой тумана производим следующим образом: ординаты кривой рис. 9 умножаем на соответствующие для каждой длины волны значения ординат кривой рис. 10; например, для волны  $0,45 \mu$  ордината  $AB$  кривой рис. 9 равна  $0,73$ ; по кривой рис. 10 для волны  $0,45$  находим значение ординаты  $= 0,3$ ; умножив  $0,73 \cdot 0,3 = 0,219$ , получаем значение ординаты искомой кривой для волны в  $0,45 \mu$ . По точкам, рассчитанным вышеуказанным способом, строим искомую кривую  $II$  (рис. 9); сравнивая кривые  $I$  и  $II$ , видим значительное понижение пропускания после прохождения пучка через слой тумана и кроме того видим смещение максимума  $M_2$  и всей кривой в сто-

рону красных лучей, т. е. цвет зеленого сигнального пучка после этого принял желтоватый оттенок.

**Задача 18.** Зная кривую относительной видимости ( $V_\lambda$ ) для белого цвета ( $5000^\circ$  абс — кривая I на рис. 11), построить кривую относительной видимости излучения, даваемого серым излучателем при  $T = 2360^\circ$  абс. Распределение энергии в спектре, даваемом серыми излучателями в зависимости от температуры, дано кривыми рис. 12.

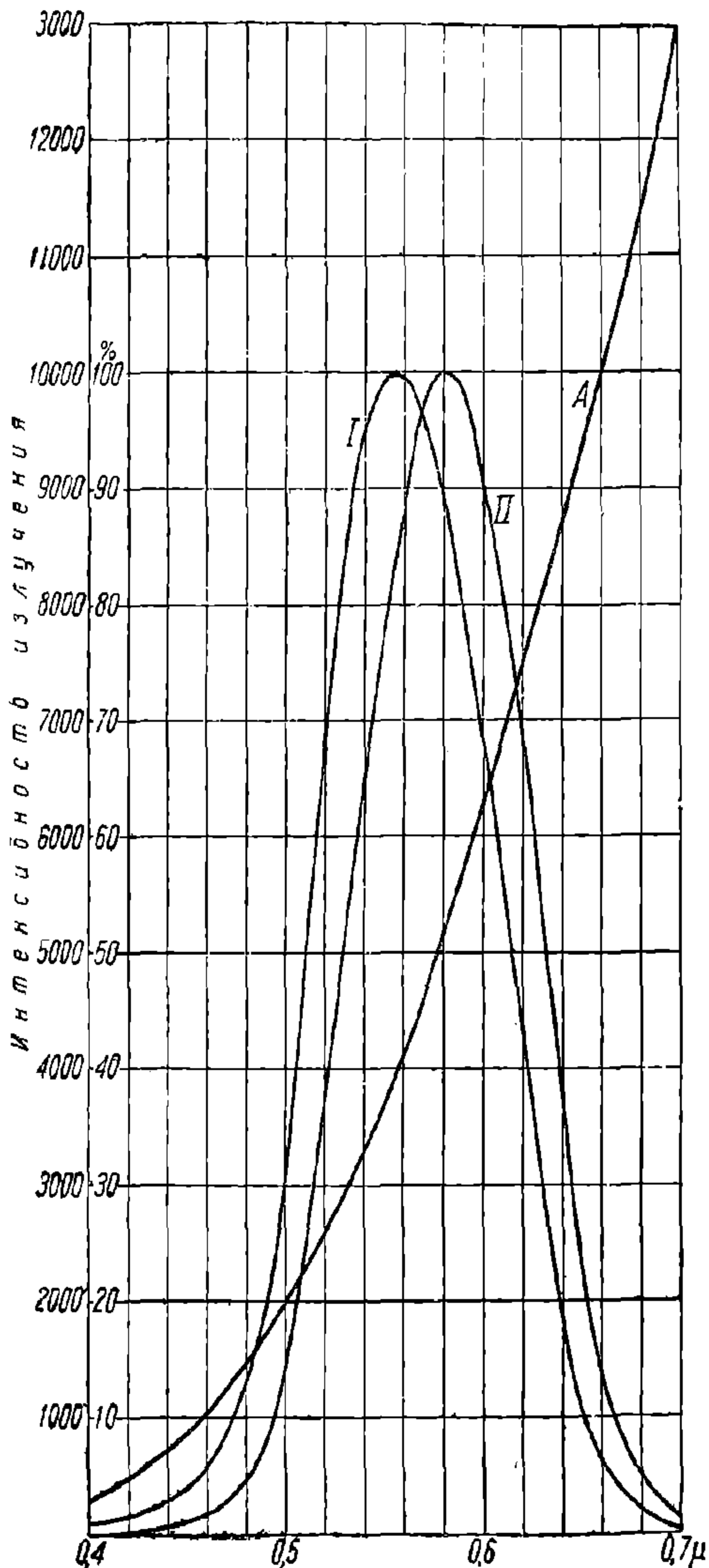


Рис. 11. Кривые относительной видимости.

Решение. Кривую распределения энергии для  $T = 2360^\circ$  абс. (рис. 12) строим на рис. 11 в обычном масштабе (на рис. 12 эта кривая построена на полу-

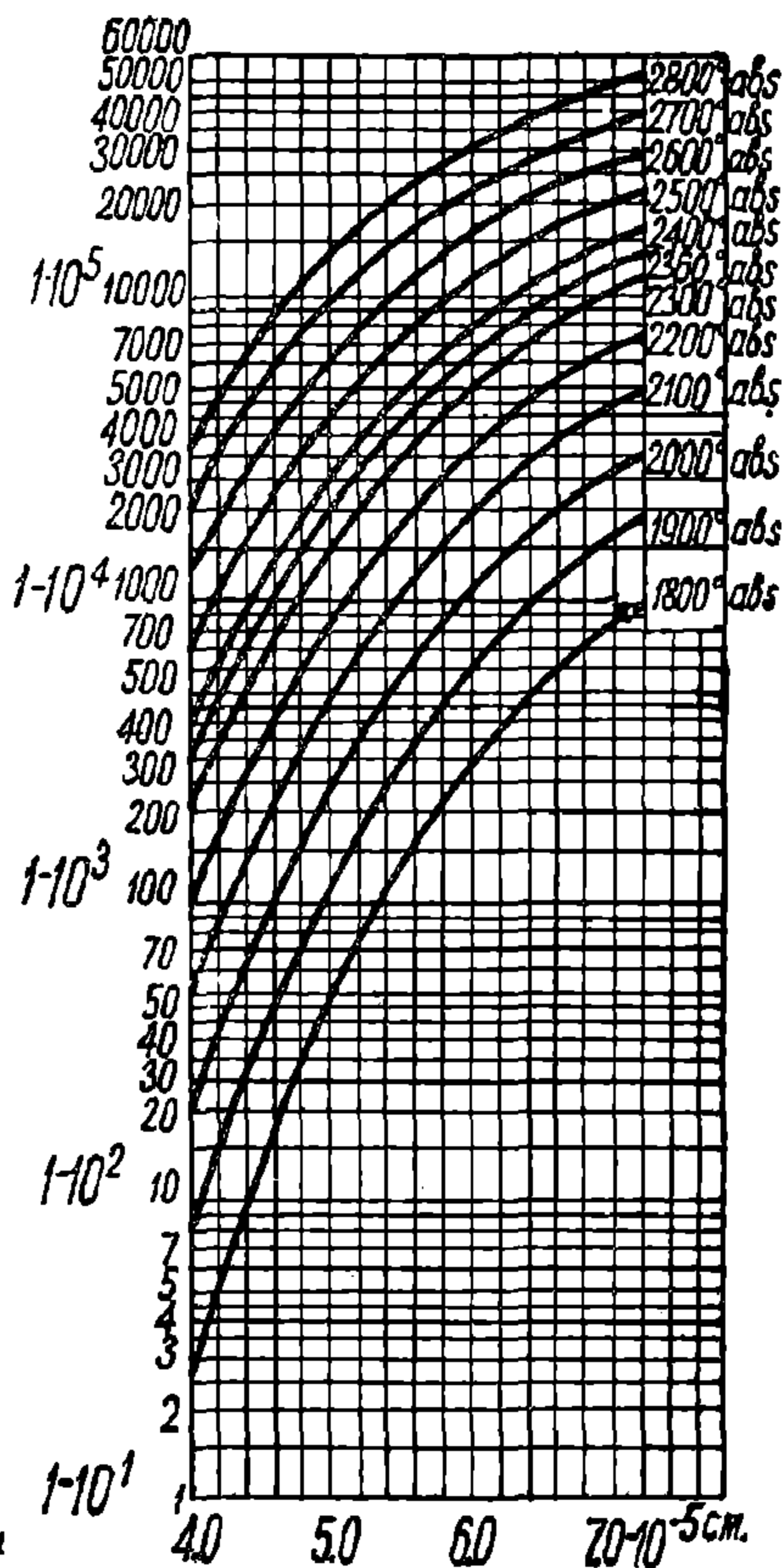


Рис. 12. Кривые распределения энергии в спектре.

логарифмической сетке). Она получается в виде кривой А. Далее составляем таблицу произведений ординат кривых I и А для разных длин волн, начиная с 0,4 до 0,7 м. Для простоты ординаты измеряем просто в миллиметрах. Далее значения полученных произ-

ДИИТ  
СНА  
ИВ, № 1013-9  
ДУЖ

400	15	0,165	0,43	1,62	4,3	13,2	38,8	66,5	77,7	88	95	100	97,5	90	68,9	35	12,8	4,83	0,55
420	48	126	475	1260	3875	11370	19500	22800	25800	27900	29300	28600	26500	20200	10250	3750	1415	160	700
440																			
460																			
480																			
500																			
520																			
540																			
550																			
560																			
570																			
580																			
590																			
600																			
620																			
640																			
660																			
680																			
700																			
Произведе- ние																			
Отношен. к макс. %																			

ведений ординат пересчитываем в проценты по отношению к максимальному произведению из полученных значений, принимаемому за 100%.

Таким образом получаем цифры, указанные в последнем ряду предыдущей таблицы; по ним строим искомую кривую II (рис. 11).

### Варианты заданий к задаче 18

Построить кривую относительной видимости для:

а) керосиновой лампы, дающей  $T = 2000^\circ$  абс. и

б) для газополной вольфрамовой лампы, дающей  $T = 2700^\circ$  абс.

**Задача 19.** Дан красный светофильтр, кривая I спектральной пропускности которого показана на рис. 13. Определить суммарную пропускную способность  $D_\Sigma$  для данного фильтра: а) при источнике белого света ( $5000^\circ$  абс.) и б) при источнике с температурой  $2360^\circ$  абс.

Сделать сравнительные выводы из полученных результатов.

**Решение.** Кривые относительной видимости для белого света и источника с  $T = 2360^\circ$  абс. приведены на рис. 13 в виде кривых V и V'; они аналогичны кривым, полученным в предыдущей задаче. Для пропущенного светофильтром излучения строим кривые, ординаты которых равны произведению соответствующих ординат кривых V и I, а также V' и I; таким образом получают кривые II и III. Так как  $D_\Sigma$  по формуле (26) равно отношению интегралов, которые выражаются площадями, ограниченными осью абсцисс и соответствующими кривыми, то для нахождения  $D_\Sigma$  по первому заданию находим отношение площадей ЛМР и СУР (кривые V и II) и по второму заданию — отношение площадей КНР и СТР (кривые V' и III); в результате получаем:

$$D'_\Sigma = \frac{\text{пл. ЛМР}}{\text{пл. СУР}} = 11,8\%$$

$$D''_\Sigma = \frac{\text{пл. КНР}}{\text{пл. СТР}} = 17,3\%$$

Из сравнения полученных результатов можем сделать заключение о значительном влиянии температуры излучающего источника на величину пропускной способности светофильтра.

В частности, при понижении температуры излучателя пропускная способность красных фильтров повышается.

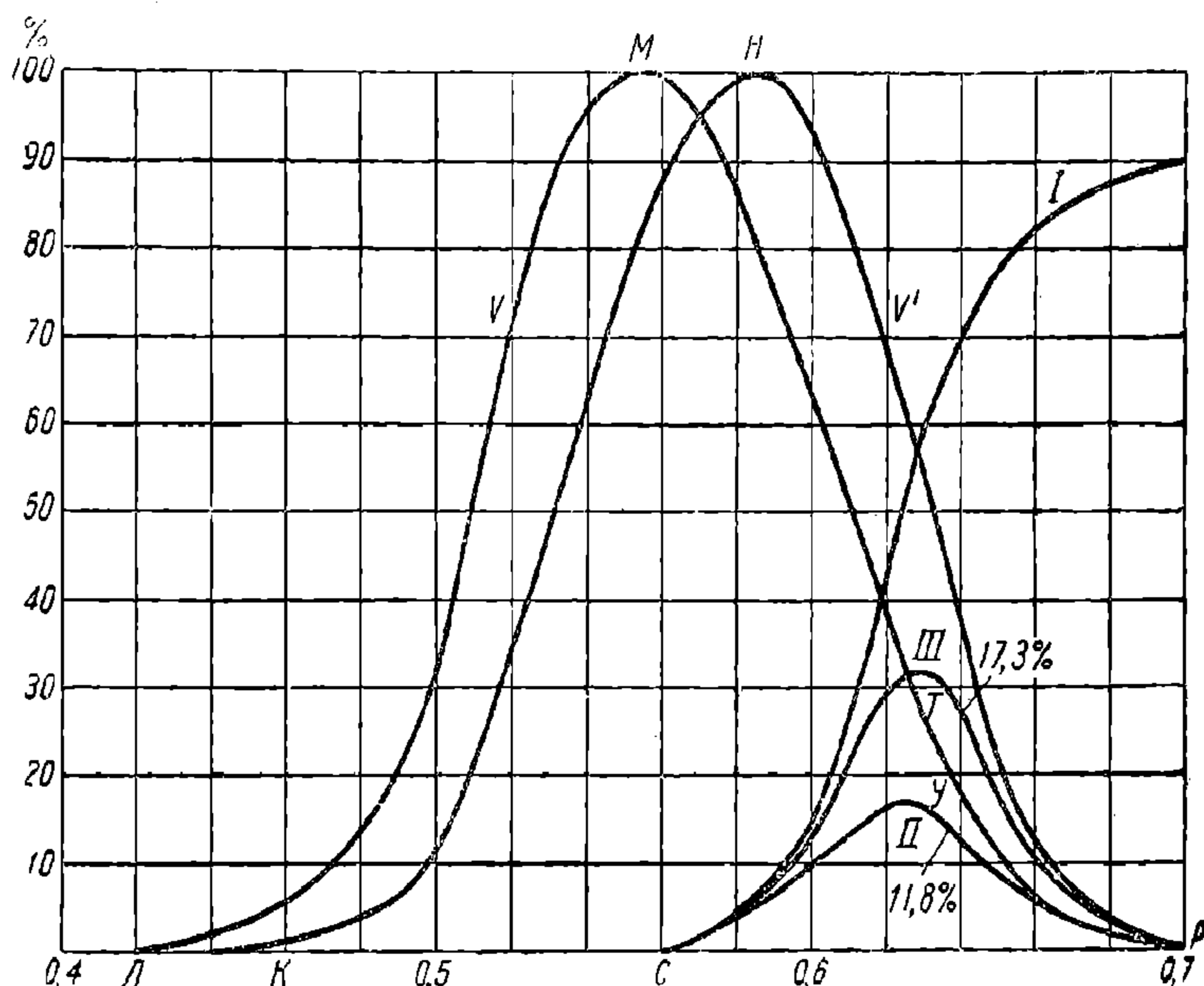


Рис. 13. Кривые спектральной пропускности.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Озолинг. и Момма. Светофорная сигнализация. Гострансиздат, 1931.
2. Озолинг, Исследование цветowych сигнальных стекол и их нормирование. Трансиздат, 1931.
3. Лупал и Мозжухин. Основы оптической сигнализации. Госжелдориздат, 1933.
4. Фабри. Общее введение в фотометрию. Гос. технико-теоретическое изд., 1934.
5. Рибо. Оптическая пирометрия. Гос. технико-теоретическое изд., 1934.
6. Симфорова. Общее исследование натурального освещения. Гизлегпром, 1932.
7. Федоров. Современное состояние колориметрии. Гос. технико-теоретическое издательство, 1933.
8. ОСТ 3970. Светофильтры сигнальные для железных дорог. Изд. „Стандартизация и рационализация“.
9. Ньюберг. Измерение цвета и цветовые стандарты. Изд. „Стандартизация и рационализация“. 1933.



### III ВЫБОР РЕЖИМА ГОРЕНИЯ СИГНАЛЬНЫХ ЛАМП

При расчетах видимости светофоров приходится иметь дело со средней сферической силой света ламп  $I_0$ ; последняя может

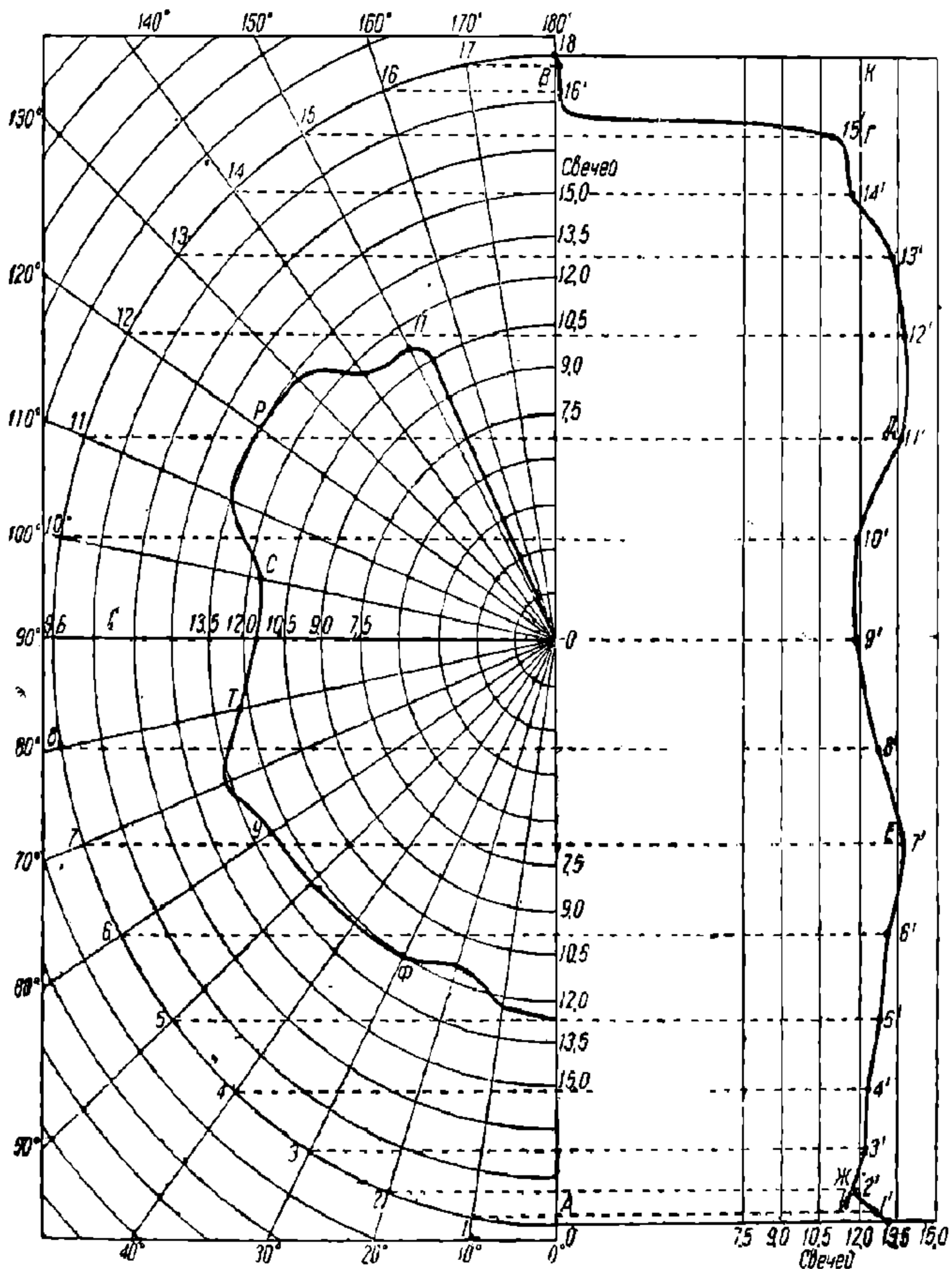


Рис. 14. Кривые распределения света ламп.

быть определена экспериментально посредством шара Ульбрихта или найдена из кривых распределения света лампы (рис. 14) построением кривой Rousseau или способом Russel'я <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>. См. Зеленцов, Световая техника, стр. 115–126.

НТБ  
ДНУЖТ

Приближенно по предложению Bloch'a возможно пользоваться для определения средней сферической силы света формулой:

$$I_0 = \frac{1}{8}(I_{30} + 2I_{60} + I_{80} + I_{100} + 2I_{120} + I_{150}), \quad (37)$$

где  $I_{30}$ ,  $I_{60}$ ,  $I_{80}$  и т. д. обозначают силы света для углов  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $80^\circ$  и т. д., взятые по кривым распределения силы света лампы.

Сила света лампы в значительной мере зависит от напряжения ( $V$ ), при котором горит лампа; эта зависимость выражается кривыми, подобными показанной на рис. 18.

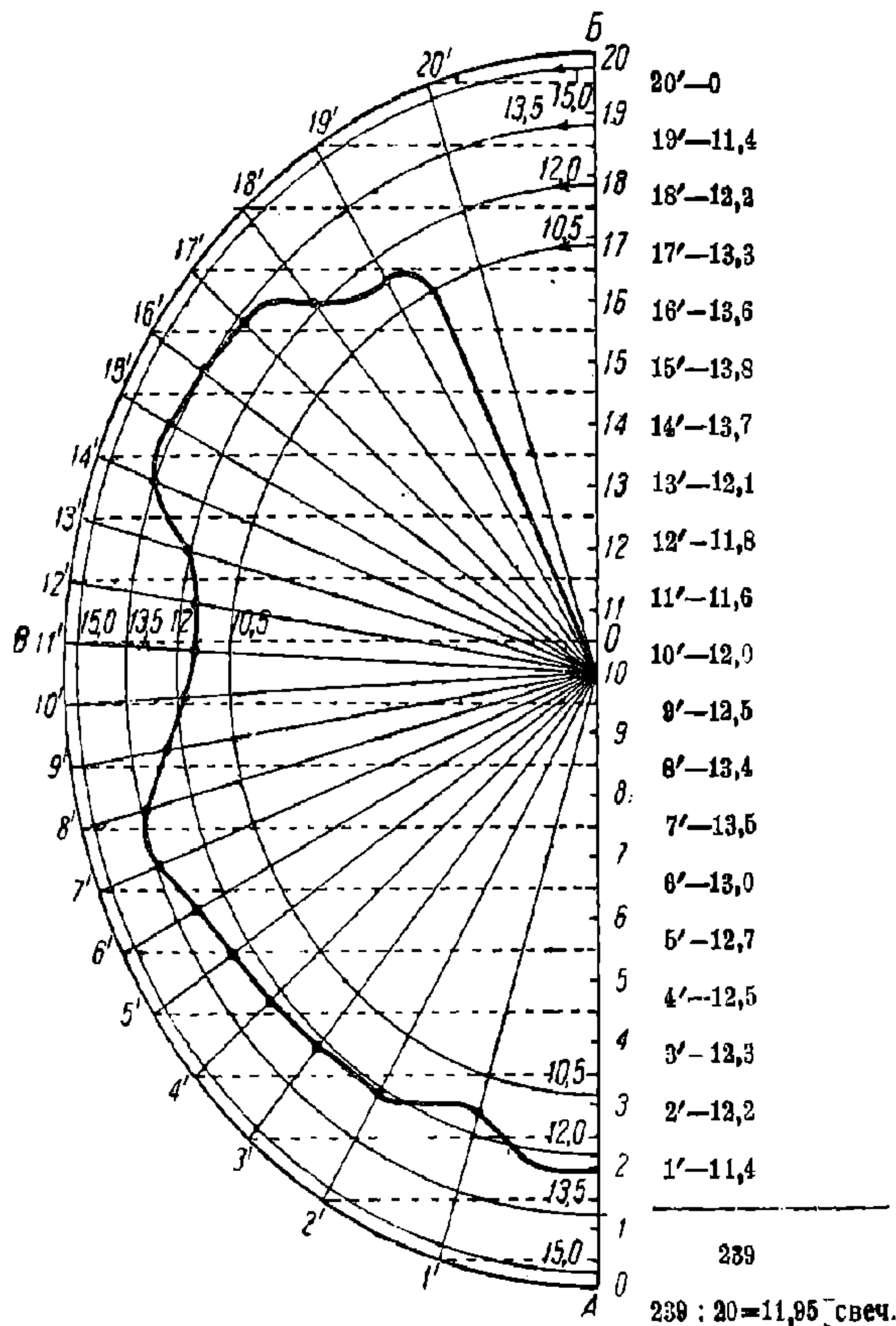


Рис. 15. Кривая по Russel'ю.

Н. Е. Eisenmenger вывел следующую формулу зависимости силы света вакуумных вольфрамовых ламп от напряжения, приложенного к ней<sup>1</sup>:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left[ \frac{\frac{V_2}{V_1} - (0,19 + 0,1\varepsilon_1)}{0,81 - 0,1\varepsilon_1} \right]^{2,834} \quad (38)$$

<sup>1</sup>. См. Зеленцов, Световая техника, стр. 190—194

где:  $I_1$  и  $I_2$  — силы света лампы,  
 $V_1$  и  $V_2$  — соответствующие напряжения,  
 $e_1 = e_2 - 1$ ,

при чем  $e_1$  означает начальное удельное потребление энергии (в ваттах на свечу).

Указанная величина удельного потребления энергии в значительной степени влияет на срок службы лампы; при повышении температуры накала нити лампы ее световая отдача растет, а удельное потребление энергии падает, но в то же время сильно понижает срок службы лампы. По предложению Lewinson'a отношение сроков службы ламп ( $H_1$  и  $H_2$ ), горящих при разных удельных потреблении энергии, может быть выражено соотношением:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{e_1}{e_2} \right)^b, \quad (39)$$

где  $b$  — коэффициент, колеблющийся в пределах 6,1—7,8.

Связь напряжений на клеммах ламп с удельным потреблением энергии выражается уравнением, предложенным Н. Е. Eisenberger'ом.

$$\frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{e_1 - 0,17}{e_2 - 0,17} \right)^{0,428} \quad (40)$$

Зависимость срока службы  $H_1$  от напряжения  $V_1$  может быть для ламп с вольфрамовой тянутой нитью выражена соотношением:

$$H_1 = n \cdot V_1^{-b}, \quad (41)$$

где  $n$  — коэффициент пропорциональности и  $b$  — показатель степени, варьирующийся (по Lewinson'у) от 12,2 до 15,6.

Колебания напряжения на зажимах лампы около номинального напряжения производят на лампу то же действие, что и некоторое постоянное перенапряжение, т. е. сокращают срок ее службы, как это видно из нижеследующей таблицы <sup>1</sup>:

Колебания напряжения	Уменьшение срока службы лампы на %	Эквивалентно постоянному перенапряжению на %
± 2,5	2,5	0,4
± 5,0	12,0	1,0
± 7,5	27,0	2,3
± 10,0	41,0	4,3
± 12,5	53,0	6,7
± 15,0	64,0	9,0

<sup>1</sup>. См. журн. «Сигнализация и связь», № 11, 1932 г., стр. 14.

Для правильной эксплуатационной работы сигнальных ламп необходимо подбирать такой режим их работы, при котором, с одной стороны, была бы достигнута требуемая сила света, обеспечивающая достаточную видимость сигнала, а с другой — был бы обеспечен определенный срок службы лампы. Так как удельный расход энергии и срок службы лампы в некотором отношении обратно-пропорциональны, то, следовательно, при определенной цене электроэнергии и стоимости ламп должен существовать определенный сигнальный режим горения ламп, дающий наилучший технико-экономический эффект.

**Задача 20.** Определить среднюю сферическую силу света сигнальной лампы, кривая распределения силы света которой приведена на рис. 14.

*Решение.* Решение этой задачи может быть произведено различными способами: а) построением кривой Rousseau (рис. 14); б) способом Russel'я и в) приближенно по формуле Bloch'a.

При построении кривой Rousseau проектируем концы радиусов (1, 2, 3, 4 и т. д.) полуокружности  $ABV$  на диаметр  $AB$  и продолжаем далее вправо в виде линий, параллельных оси абсцисс. На указанных линиях откладываем соответствующие радиальные отрезки от центра  $O$ , в котором помещена лампа, до кривой распределения света лампы ( $OPSTU\Phi$ ) и таким образом получаем на правой половине рисунка ряд точек  $1', 2', 3'$  и т. д., соединив которые плавной линией, получим кривую Rousseau  $BГДЕЖ$ ; чтобы найти среднюю сферическую силу света лампы, надо площадь  $ABГДЕЖ$ , ограниченную осями координат и кривой  $BГДЕЖ$ , превратить в равновеликий прямоугольник; этот прямоугольник будет  $AIKB$ ; ширина его  $AI$  равна по масштабу 12 св. и будет представлять среднюю сферическую силу света.

Способом Russel'я та же задача решается следующим образом (рис. 15): на диаметре  $AB$  откладываем 20 равных отрезков;  $0-1$ ,  $1-2$ ,  $2-3$ ,  $3-4$  и т. д.; из середины каждого отрезка проводим линии, параллельные оси абсцисс до пересечения с полуокружностью  $ABV$  в точках  $1', 2', 3'$  и т. д. Из точек  $1', 2', 3', 4'$  и т. д. проводим радиусы и определяем по масштабу радиальные отрезки на них от центра  $O$  до кривой распределения; справа выписываем величины всех 20 полученных отрезков в виде столбца и складываем; полученную сумму (239) делим на число отрезков (20) и получаем среднюю сферическую силу света:

$$\frac{239}{20} = 11,95 \text{ св.}$$

Для определения по приближенной формуле Bloch'a находим по рис. 14 радиальные отрезки для углов  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $100^\circ$ ,  $120^\circ$  и  $150^\circ$ ; они по масштабу равны:

$$\begin{aligned} I_{30} &= O\Phi = 12, \\ I_{60} &= OY = 12,75, \\ I_{80} &= OT = 12,5, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{100} &= OC = 11,6, \\ I_{120} &= OP = 13,5, \\ I_{150} &= O\Pi = 11,25. \end{aligned}$$

НТБ  
ДНУЖТ  
39



Тогда по формуле (37)

$$I_0 = \frac{1}{8} (12 + 2 \cdot 12,75 + 12,5 + 11,6 + 2 \cdot 13,5 + 11,25) = \\ = \frac{1}{8} \cdot 99,85 = 12,48 \text{ св.}$$

Как видим, по формуле Bloch'a получается преувеличенный результат сравнительно с предыдущими результатами.

**Задача 21.** Зная, что лампа, для которой определена средняя сферическая в предыдущей задаче, потребляет при 12 V ток в 1,13 A определить удельное потребление энергии в лампе.

*Решение.* Потребление энергии в лампе

$$P = 12 \cdot 1,13 \text{ W.}$$

Так как средняя сферическая сила света лампы равна 11,95 (по способу Russel'я в предыдущей задаче), то удельное потребление энергии:

$$e_1 = \frac{12 \cdot 1,13}{11,95} = 1,135 \text{ W/св.}$$

**Задача 22.** Определить, при каком напряжении лампа, рассмотренная в предыдущих задачах, будет иметь удельное потребление энергии  $e_2 = 1,5 \text{ W/св.}$

*Решение.* Для определения искомого напряжения  $V_2$  пользуемся формулой (40):

$$\frac{V_2}{V_1} = \left[ \frac{e_1 - 0,17}{e_2 - 0,17} \right]^{0,428}$$

Подставляя в указанную формулу  $V_1 = 12\text{V}$ ,  $e_1 = 1,135 \text{ W/св.}$  и  $e_2 = 1,5 \text{ W/св.}$  получим:

$$V_2 = 12 \cdot \left[ \frac{0,965}{1,33} \right]^{0,428} = 12 \cdot 0,725^{0,428} = 12 \cdot 0,871 = 10,45\text{V.}$$

**Задача 23.** Сигнальная лампа потребляет мощность 15W при напряжении 12V, давая силу света в 9,4 св. (удельное потребление энергии 1,6W/св.) Построить кривую, выражающую зависимость срока службы лампы от приложенного к ней напряжения, принимая изменение его в пределах  $\pm 15\%$ . Срок службы данной лампы при напряжении 12V принимается равным 1000 часов.

*Решение.* Зависимость между сроком службы лампы и напряжением на ее клеммах выражается формулой (39):

$$H_1 = n \cdot V_1^{-b}. \quad (42)$$

Принимаем  $b = 14,8$  (Зеленцов, стр. 193). При всяком другом напряжении  $V_2$  будем иметь:

$$H_2 = n \cdot V_2^{-b}. \quad (43)$$

Взяв отношение уравнений (43) и (42), получим:

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{n \cdot V_2^{-b}}{n \cdot V_1^{-b}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^b \quad (44)$$

Отношение  $\frac{H_2}{H_1}$  будет выражать удлинение или укорочение срока службы лампы при новом напряжении  $V_2$ , сравнительно со сроком службы  $H_1$  при начальном напряжении  $V_1$ .

Находим отношения  $\frac{H_2}{H_1}$ , подставляя последовательно в формулу (44):  $V_2 = 0,85 V_1, 0,9 V_1, 0,95 V_1, 1,05 V_1, 1,10 V_1$  и  $1,15 V_1$ . Таким образом получаем:

При  $V_2 = 0,85 V_1$  отношение

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{V_1}{0,85 V_1}\right)^{14,8} = 11,22, \text{ или } 1122\%,$$

при  $V_2 = 0,9 V_1$  отношение  $\frac{H_2}{H_1}$  равно 4,754 или 475,4%.

• — $0,95V_1$	2,118	•	211,8%
• — $1,05V_1$	0,483	•	48,3%
• — $1,10V_1$	0,2438	•	24,38%
• — $1,15V_1$	0,1225	•	12,25%

Кривую зависимости срока службы лампы от приложенного к ней напряжения строим в системе координат (рис. 16), принимая начальное напряжение  $V_1$  и срок службы  $H_1$  за 100%. Кривая получилась формы, показанной сплошной линией на рис. 16. На том же рисунке пунктиром показана для сравнения аналогичная кривая, заимствованная из американских данных для сигнальных ламп.

По форме кривой рис. 16 видно, что выбор напряжения для сигнальной лампы весьма сильно отражается на сроке службы лампы.

**Задача 24.** Построить кривую удельного потребления энергии  $W/\text{св.}$  в зависимости от изменения напряжения (в пределах  $\pm 15\%$ ) на зажимах лампы 15W, рассчитанной нормально для напряжения 12 V и дающей при этом силу света в 9,4 св.

*Решение.* Зависимость напряжения и удельного потребления энергии выражается формулой (40):

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{e_1 - 0,17}{e_2 - 0,17}\right)^{0,428}$$

Полагаем, что  $V_1$  равно нормальному напряжению 12 V, при этом соответствующее  $e_1$  будет равно

$$\frac{15}{9,4} = 1,595 \text{ W/св.}$$

Подставляя в вышеприведенную формулу последовательно  $V_2 = 0,85V_1, 0,9V_1, 0,95V_1, 1,05V_1, 1,1V_1$  и  $1,15V_1$ , можем определить соответствующее значение  $e_2$ .

Для удобства расчета формулу можно преобразовать следующим образом:

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{0,428}} = \frac{1,595 - 0,17}{e_2 - 0,17} = \frac{1,425}{e_2 - 0,17},$$

откуда:

$$e_2 = \frac{1,425}{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{2,34}} + 0,17 \text{ W/св.}$$

Подставляя сюда различные значения  $\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ , получим следующие значения удельного потребления энергии.

$\frac{V_2}{V_1}$	$e_2$	$\frac{e_2}{e_1}$
0,85	2,447	1,414
0,9	2,15	1,254
0,95	1,84	1,153
1,00	1,595	1,00
1,05	1,44	0,902
1,10	1,31	0,821
1,15	1,197	0,75

Кривую удобнее построить, приняв за координаты  $\frac{V_2}{V_1}$  и  $\frac{e_2}{e_1}$ ; такая кривая приведена на рис. 17. Как видим по рис. 17, при перекале лампы удельный расход энергии снижается, но, как видно по рис. 16, срок службы при этом также очень снижается.

**Задача 25.** Для сигнальной лампы, принятой в задачах 23 и 24, определить, в какую сумму обойдется одна свеча, даваемая ею в течение всего срока службы лампы, если принять, что указанная

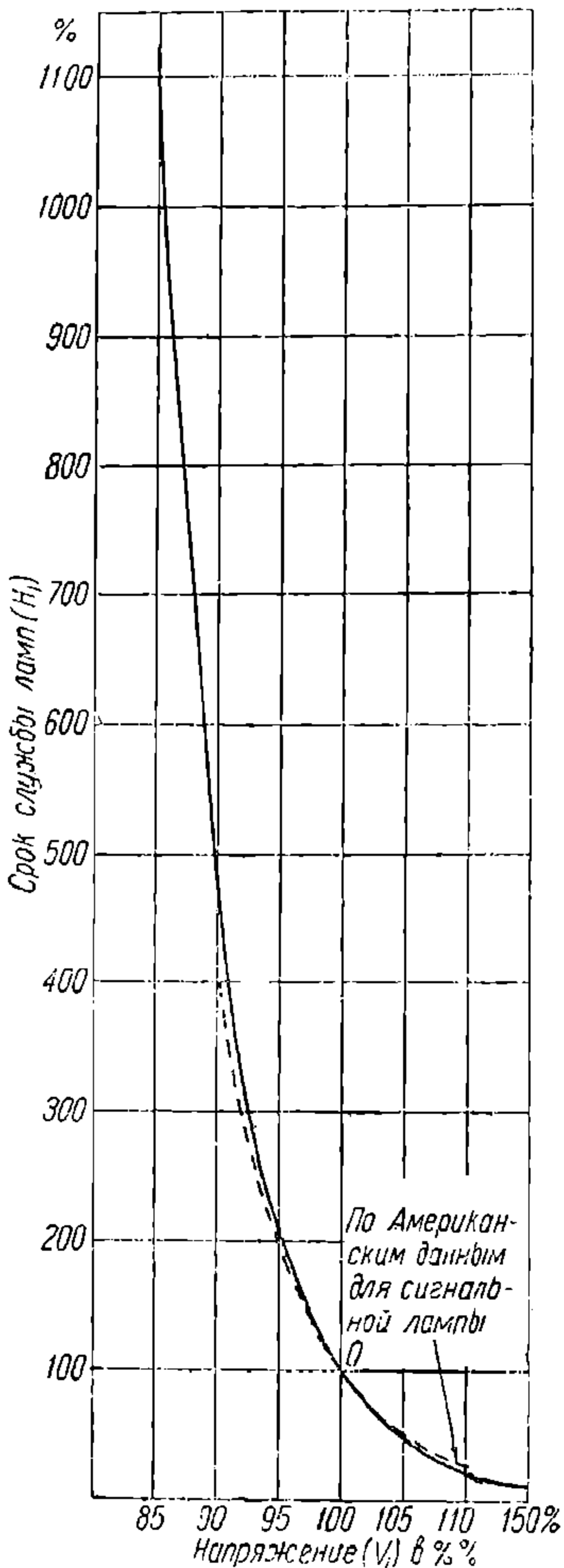


Рис. 16. Кривая срока службы ламп.

лампа питается от переменного тока при среднем напряжении, равном  $0,95\%$  ее номинального напряжения и что колебания напряжения в сети равны  $\pm 5\%$ . Стоимость электроэнергии принимается в 10 коп. за kWh.

*Решение.* Так как колебания напряжения в  $\pm 5\%$  по приведенной на стр. 36 таблице эквивалентны постоянному перенапряжению в  $1\%$ , то, следовательно, надо считать, что лампа горит при  $95 + 1 = 96\%$  номинального напряжения.

По кривой рис. 16 срок службы лампы при  $96\%$  номинального напряжения равен  $180\%$ , т. е. будет равен

$$1,8 \cdot 1000 = 1800 \text{ часов.}$$

По кривой рис. 17 удельный расход энергии на свечу при  $96\%$  номинального напряжения равен  $110\%$ , т. е.

$$e_2 = 1,1 \cdot 1,595 = 1,755 \text{ W/св.}$$

За 1800 часов на одну отдаваемую свечу будет израсходовано

$$1800 \cdot 1,755 = 3160 \text{ Wh или } 3,16 \text{ kWh,}$$

что при 10 коп. за kWh будет стоить 31,6 копейки.

**Задача 26.** Построить характеристику сигнальной лампы 15W, 12V, т. е. зависимость отдаваемой силы света от напряжения.

*Решение.* Взятая лампа дает при 12V — 9,4 св.

Характеристику строим, пользуясь уравнением (38):

$$\frac{I_2}{I_1} = \left[ \frac{\frac{V_2}{V_1} - (0,19 + 0,1 \varepsilon_1)}{0,81 - 0,1 \varepsilon_1} \right]^{2,834}$$

Имеем

$$I_1 = 9,4 \text{ св.};$$

$$\varepsilon_1 = e_1 - 1 = 1,595 - 1 = 0,595.$$

Подставляя в уравнение разные значения  $V_2$  или проще  $\frac{V_2}{V_1}$ , можем найти соответствующие  $I_2$  или  $\frac{I_2}{I_1}$ .

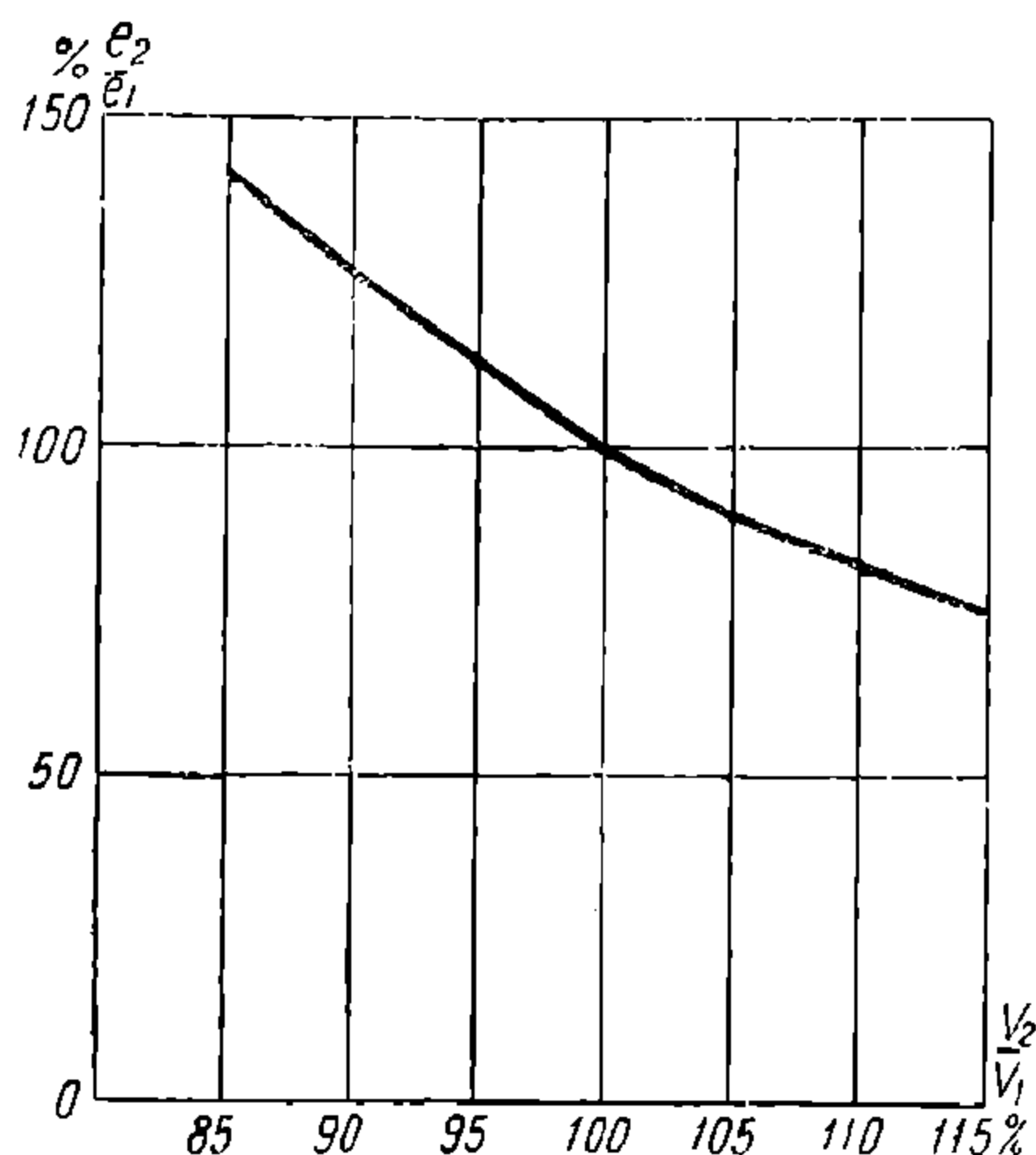


Рис. 17. Кривая потребления энергии.

Таким образом находим:

Для значения $\frac{V_2}{V_1}$	0,8	0,85	0,9	0,95	1,00	1,05	1,1	1,15
Значения: $\frac{I_2}{I_1}$	0,418	0,532	0,67	0,824	1,00	1,204	1,424	1,676
Значения: $I_2$	3,93	5	6,29	7,74	9,4	11,3	13,4	15,75

По найденным значениям строим характеристику лампы (рис. 18) как в процентах  $\frac{I_2}{I_1}$ , так и в свечах ( $I_2$ ).

**Задача 27.** Определить стоимость замены лампы, приходящуюся на одну свечу/час при данных лампы, принятых в предыдущих задачах, в зависимости от изменения приложенного напряжения на клеммах лампы в пределах от 90 до 110% от номинального. Стоимость сигнальной лампы вместе с дополнительными расходами, связанными с заменой, принимается равной 2 р. 50 к.

*Решение.* По кривой рис. 16 имеем следующие сроки службы лампы и рассчитанные по ним стоимости замены на час горения лампы при разных напряжениях:

% номинального напряжения	Срок службы	Стоимость замены на час горения
85	11 220 час.	0,0223 коп.
90	4 750 »	0,0527 »
95	2 125 »	0,1175 »
100	1 000 »	0,25 »
105	475 »	0,527 »
110	250 »	1,0 »

Имея значения силы света лампы при различных напряжениях, полученные в предыдущей задаче (значение  $I_2$ ), можем найти стоимость замены лампы, приходящуюся на 1 свечу в час:

$$\begin{aligned}
 \text{при } 85\% & - 0,0223 : 5 = 0,00446 \text{ коп.} \\
 \text{„ } 90\% & - 0,0527 : 6,29 = 0,0084 \text{ „} \\
 \text{„ } 95\% & - 0,1175 : 7,74 = 0,0152 \text{ „} \\
 \text{„ } 100\% & - 0,25 : 9,4 = 0,0266 \text{ „} \\
 \text{„ } 105\% & - 0,527 : 11,3 = 0,0466 \text{ „} \\
 \text{„ } 110\% & - 1,0 : 13,4 = 0,0746 \text{ „}
 \end{aligned}$$

Как видим, стоимость замены лампы, приходящаяся на свечу/час с повышением напряжения быстро возрастает.

**Задача 28.** Найти наиболее выгодный режим горения сигнальной лампы, принятой в предыдущих задачах, как в отношении стоимости замены лампы, так и в отношении расхода энергии, при стоимости последней в 10, 20 и 40 коп. за kWh.

*Решение.* Так как при повышении напряжения удельный расход на свечу падает, а стоимость замены лампы, приходящаяся на свечу,



растет, то наивыгоднейшим режимом будет такой, который будет соответствовать минимуму кривых стоимости энергии и стоимости замены лампы на свечу/час.

В задаче 24-й были найдены удельные расходы энергии на свечу при разных напряжениях; по ним при разных стоимостях kWh мы

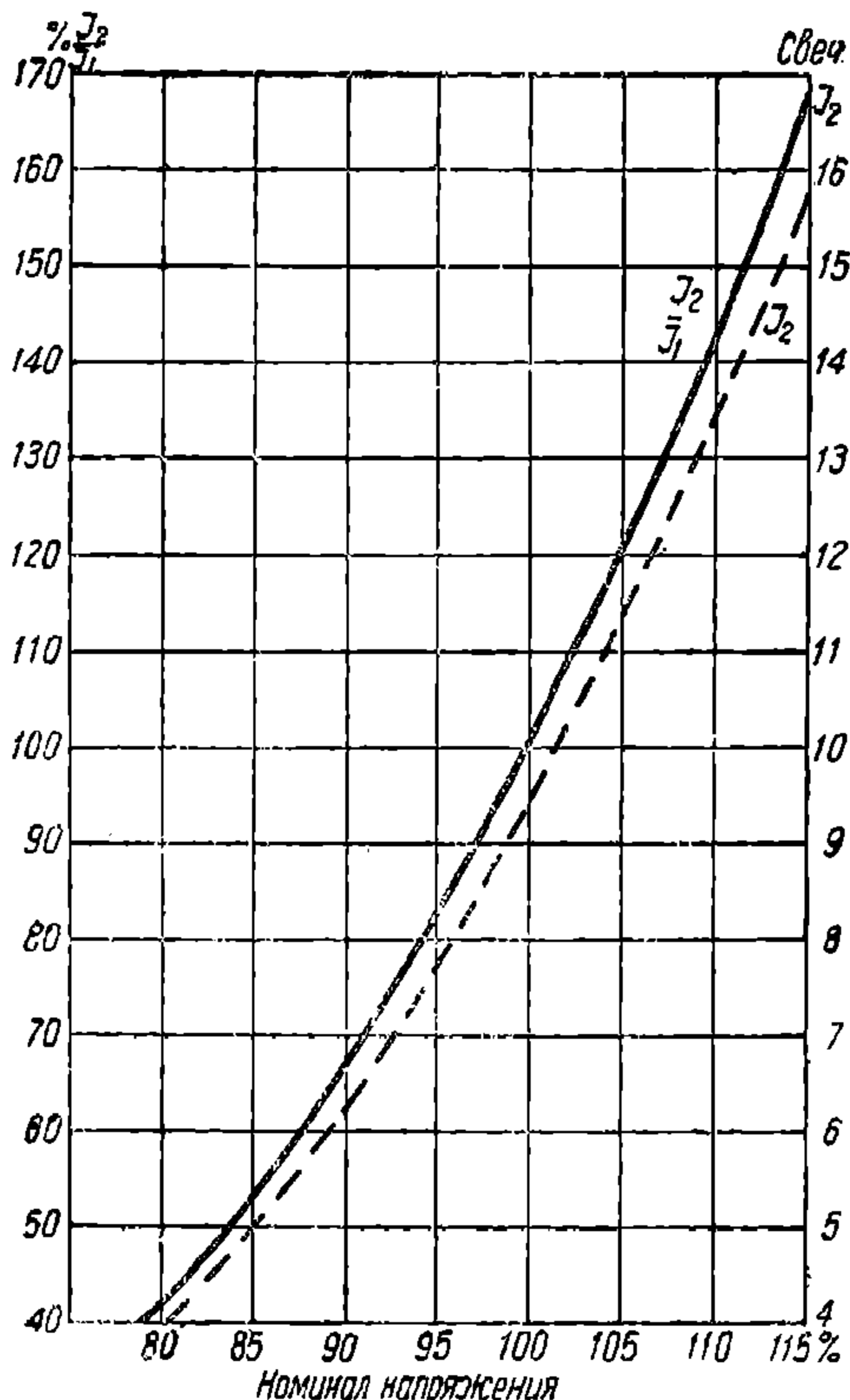


Рис. 18. Характеристика лампы.

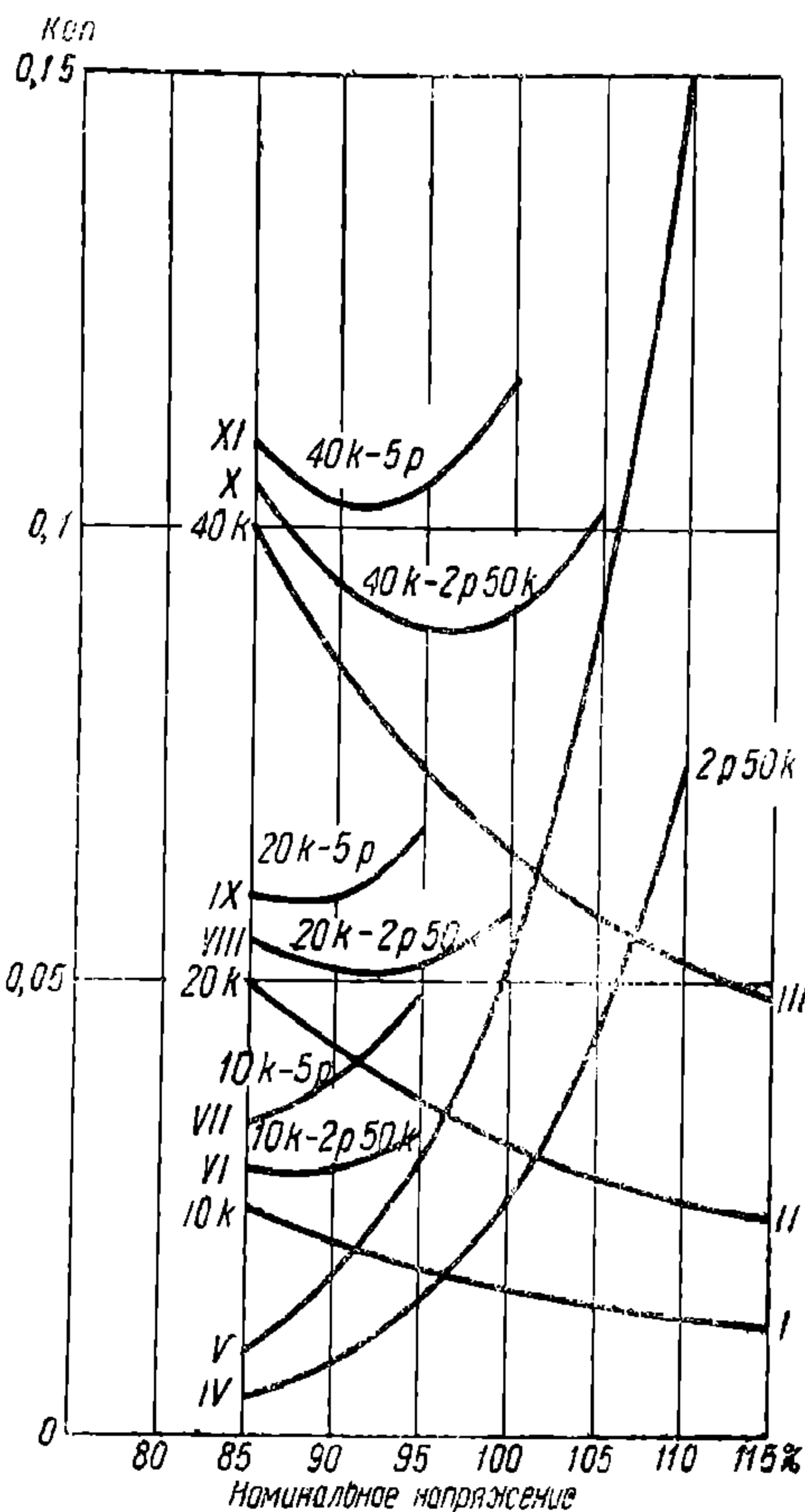


Рис. 19. Кривые к задаче 28.

находим стоимость расхода электроэнергии на свечу/час; эти расходы будут следующие:

% номинального напряжения	Удельный расход	Стоимости свечи/часа при цене киловаттчаса		
		10 коп.	20 коп.	40 коп.
85	2,447	0,025	0,05	0,1
90	2,15	0,0215	0,043	0,086
95	1,84	0,0184	0,0368	0,0736
100	1,595	0,016	0,032	0,064
105	1,44	0,0144	0,029	0,058
110	1,31	0,013	0,026	0,052
115	1,197	0,012	0,024	0,048

Указанные стоимости расхода энергии, равно как и стоимости энергии, полученные в предыдущей задаче, наносим в виде кривых I, II, III и IV на рис. 19; кроме того, построена еще кривая V, соответствующая цене замены лампы в 5 руб.; она имеет ординаты вдвое больше, чем у кривой IV.

Чтобы найти наивыгоднейший режим горения ламп, надо найти минимум стоимости энергии + стоимость замены ламп; для нахождения указанного минимума строим кривые, имеющие ординаты, равные сумме ординат кривых стоимости энергии и кривых стоимости замены ламп; таким образом получены кривые VI—XI; эти кривые соответствуют:

№ кривой	Стоимость:		Минимум кривой по-лучается при % но-мин. на-пряжения
	энергии	замены ламп	
VI	10 коп.	2 р. 50 к.	88 %
VII	10 »	5 » — »	85 %
VIII	20 »	2 » 50 »	92 %
IX	20 »	5 » — »	88 %
X	40 »	2 » 50 »	96,5%
XI	40 »	5 » — »	92,5%

По расположению минимумов кривых VI—XI видим, что чем дешевле энергия и дороже замена ламп, тем ниже надо выбирать вольтаж горения ламп. При низких тарифах на энергию (10 коп. и ниже за kWh) решающую роль в экономике эксплуатации сигнальных ламп будет играть стоимость замены их (стоимость самой лампы и рабсилы, расходуемой при замене).

#### ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленцов. Световая техника. Изд. Кубуч, 1925.
2. Федоров. Осветительные лампы. Изд. Кубуч, 1934.
3. Озолинг и Белов. Установка и эксплуатация линзовых светофоров. Журнал „Сигнализация и связь на ж.-д. транспорте“, № 11, 1932.

## IV МЕХАНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТРЕЛКАМИ И СИГНАЛАМИ

Механическое управление стрелками и сигналами в СССР осуществляется почти исключительно посредством двойных гибких тяг. Задача расчета такой гибкой передачи заключается в определении потерь хода вследствие изменений провесов тяг и упругого удлинения проводов при меняющихся при переводах натяжениях в тягах; одновременно возникает необходимость расчетного или экспериментального определения сопротивлений различных включенных в тяги приборов (роликов, шкивов, компенсаторов, приводов и т. п.). Изменение длины провода, имеющего вес  $q$  кг на 1 м длины и подвешенного на опорах (роликах), расположенных на расстоянии  $l$  м одна от другой, под влиянием силы  $T$  происходит на величину:

$$\Delta s = \frac{q^2 l^3}{24 \cdot T^2} - \frac{T \cdot l}{Q \cdot E}, \quad (45)$$

где  $E$  — модуль упругости материала провода, равный  
 $2 - 2,15 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>,

а  $Q$  — поперечное сечение провода в см<sup>2</sup>.

Первый член уравнения (45) выражает изменение длины провода в пролете между опорами под влиянием изменения провеса, а второй — изменение длины под влиянием упругого удлинения провода; оба вида указанных изменений длины провода могут быть построены в виде кривых  $\Delta s = f(T)$ ; на рис. 20 кривая I выражает изменение длины провода вследствие изменения провесов, а кривая II — изменение длины провода вследствие упругого удлинения; кривая III является суммарной кривой, построенной по кривым I и II, и графически соответствует уравнению (45). Построение подобных кривых может быть произведено в отдельности для разных величин пролетов  $l$  и разных данных для провода ( $q$ ,  $Q$  и  $E$ ).

При работе рычагом в передаче посредством гибких тяг происходит повышение натяжения в ведущем проводе (до величины  $T_1$ ) и понижение натяжения в сдающем проводе (до величины  $T_2$ ); разность указанных натяжений и создает то усилие  $T$ , которое, преодолев сопротивление в промежуточных частях передачи, будет использовано в конечном приводе; таким образом:

$$T = T_1 - T_2.$$

Если в тросах нормально компенсатором поддерживается натяжение  $T_k$ , то при переводе в ведущем проводе происходит изменение натяжения на

$$T_I = T_0 - T_k \text{ кг}, \quad (47)$$

а в сдающем на

$$T_{II} = T_0 - T_0; \quad (48)$$

вызванные изменением натяжений изменения длин ведущего ( $\Delta s_1$ ) и сдающего ( $\Delta s_2$ ) проводов должны быть нормально равны, т. е.

$$\Delta s_1 = \Delta s_2. \quad (49)$$

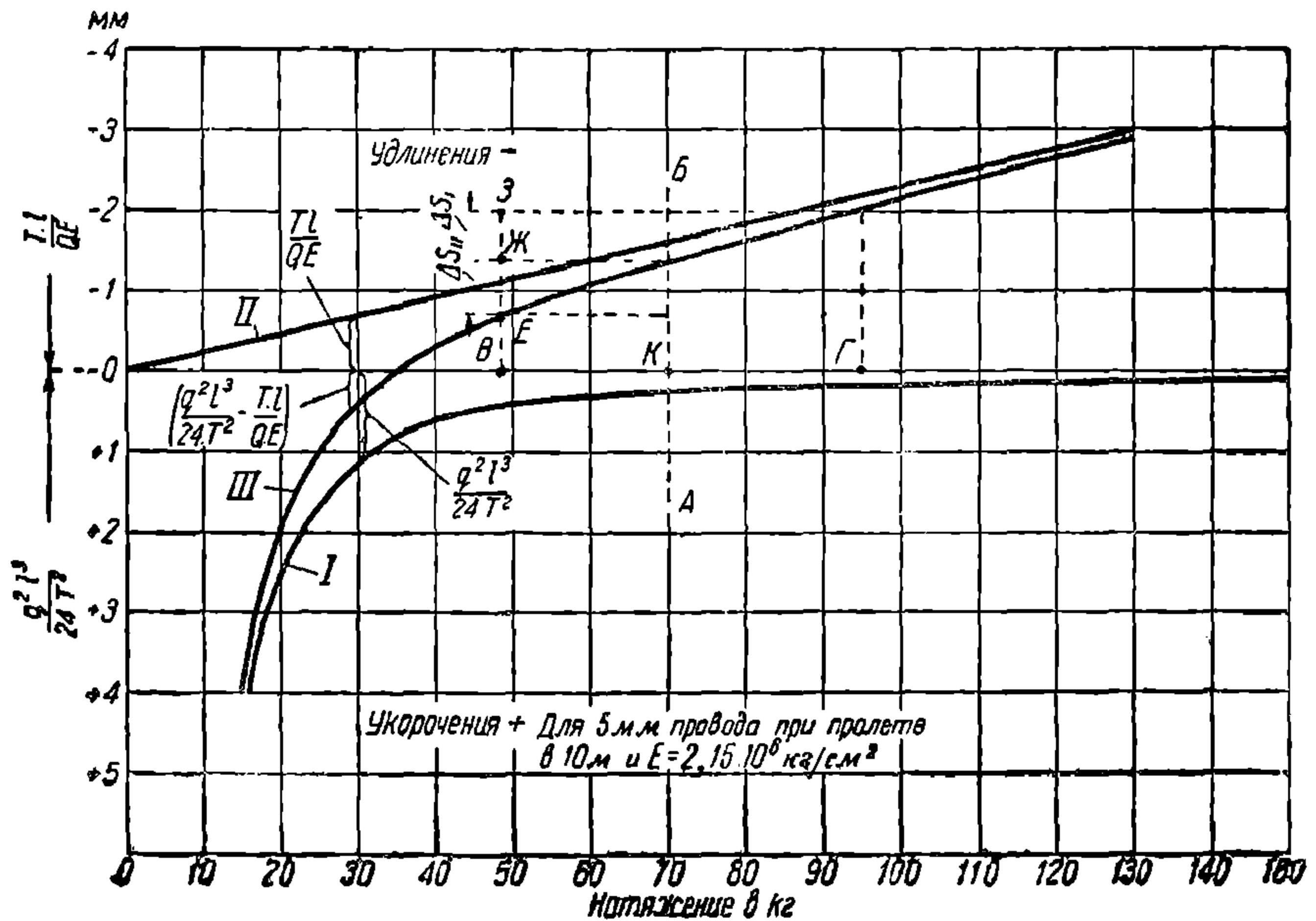


Рис. 20. Кривые изменений длины провода.

Из сопоставления уравнений (46), (47) и (48) следует, что используемое в тросах усилие будет:

$$T = T_I + T_{II}. \quad (50)$$

Для соблюдения равенства (49) изменения усилий в отдельных проводах, оказывается, должны быть неравны (т. е.  $T_I \neq T_{II}$ ).

Как должны при определенном усилии  $T$ , необходимом для перевода, распределиться между проводами усилия  $T_I$  и  $T_{II}$ , можно найти графически.

Для этого на кривой III (рис. 20) по отношению к линии AB, соответствующей принятому натяжению компенсатора, располагаем отрезок BГ, равный по масштабу переводному усилию  $T$ , так, чтобы изменение длины ( $\Delta s_2$ ) в сдающем проводе (отрезок EJ на рис. 20) равнялось изменению длины ( $\Delta s_1$ ) в ведущем проводе (отрезок ЖЗ); тогда отрезок BK будет равен  $T_{II}$ , а КГ =  $T_k$ .

НТБ  
ДНУЖТ

Изменения в длине того или другого провода, возникающие при изменении натяжений в проводе от спокойного до рабочего его состояния (т. е. от  $T_k$  до  $T_0$  или  $T_c$ ) является бесполезной потерей хода; эти изменения могут быть рассчитаны либо на один пролет, либо удобнее на 1 м тяги. Зная потери на 1 м, можно подсчитать потерю хода на всю длину данной передачи. Оставшийся от полного хода тяг полезный ход тяг должен нормально сохранить такую величину, чтобы были обеспечены необходимые замыкания и был выполнен правильный перевод управляемых стрелок и сигналов. Проверка этого производится сравнением полученных при расчете цифр с нормальными ходами перевода и замыкания для применяемых конструкций приводов.

Необходимое для перевода усилие  $T$  складывается из сопротивлений промежуточных приборов и самого привода; указанные сопротивления зависят как от типа применяемых приборов, так и в значительной мере от условий монтажа и содержания их (т. е. от условий смазки, регулировки и пр.).

На основании исследований автора и данных германского инж. Мюллера составлена нижеследующая таблица сопротивлений разных приборов механической централизации: данные автора соответствуют средним значениям сопротивлений приборов, по исследованиям на ряде дорог Украины; данные инж. Мюллера соответствуют нормальному (хорошему) содержанию приборов на германских жел. дорогах; при ухудшенном содержании Мюллером рекомендуется применять коэффициент 1,5—2.

Таблица сопротивлений в кг различных приборов гибкой передачи

Название прибора	По Мюллеру		По Вахнину при подшипниках трения
	при подшипниках трения	при шариковых подшипниках	
Шкивы прижимные ( $D = 120 - 140$ мм) .	0,5—4,5	0,4—1,25	} 4—6
Шкивы угловые ( $D = 300$ мм)	0,55—2,25	—	
Подвесные ролики	0,24	—	0,2—0,8
Компенсаторы	10	—	15—25 кг
Стрелочный привод-замыкатель	По расчету		40—60 »
Семафорный привод	—	—	25—35 »

Усилие  $F_0$ , необходимое для перевода острияков, определяется по формуле:

$$F_0 = \frac{f \cdot Q \cdot l}{2(l-a)}, \quad (51)$$



где:

- $f$  — коэффициент трения между острьяками и подушками, равный 0,15—0,18;
- $Q$  — вес острьяков (500—800 кг);
- $l$  — длина острьяков (4,5—6 м);
- $a$  — расстояние прикрепления переводной тяги к острьяку от острья его (280—400 мм).

Для получения полного усилия  $F_0$  для перевода стрелки к  $F_0$  надо прибавить еще усилие  $F_n$  для перевода привода-замыкателя, равное в среднем 14—20 кг, при наличии плотной пригонки запирающих частей (штанг, реборд и т. п.).  $F_n$  разделяется приблизительно пополам на перевод привода и на замыкание острьяка.

Передаточное число  $b$  от гибких тяг к переводной стрелочной штанге составляет 2—2,27; к л. д. упомянутой передачи  $\eta_n \cong 95\%$ .

По Мюллеру сопротивление угловых поворотных шкивов  $F_{ш}$  может быть определено по формуле:

$$F_{ш} = C + 7,4 \cdot T \cdot \frac{1}{D} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \lambda, \quad (52)$$

где:

- $C$  — постоянная, равная 0,3 кг;
- $T$  — натяжение в проводе в кг;
- $D$  — диаметр шкива в мм;
- $\alpha$  — угол отклонения тяг на шкиве;
- $\lambda$  — коэффициент, зависящий от рода подшипника шкива; при подшипнике трения  $\lambda = 1$  и при шариковом подшипнике  $\lambda = 0,2$ .

При точных подсчетах гибких передач учитывается влияние сил инерции частей, приводимых в движение при переводе, несколько увеличивающих передаваемый к приводу ход.

Решение дальнейших задач иллюстрирует применение вышесказанного к расчетам работы гибких тяг.

**Задача 29.** Построить суммарную кривую изменения длины провода  $d = 5$  мм при расстоянии опор  $l = 10$  м и при изменении натяжения до 150 кг, принимая  $E = 2,15 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>.

**Решение.** Для входящих в уравнение (45) величин имеем следующие данные:

$q = 0,00156$  кг/см;  $l = 10$  м = 1 000 см;  $T$  берем изменяющимся от 10 кг до 150 кг;  $Q = 19,63$  мм<sup>2</sup> = 0,1963 см<sup>2</sup> и  $E = 2,15 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>. Подставив приведенные данные, получим:

$$\begin{aligned} \Delta s &= \frac{0,00156^2 \cdot 1\,000^3}{24 \cdot T^2} - \frac{T \cdot 1\,000}{0,1963 \cdot 2,15 \cdot 10^6} = \\ &= \frac{101,4}{T^2} - 2,4 \cdot 10^{-3} T. \end{aligned} \quad (53)$$

Подставляя в уравнение (53) разные значения  $T$ , получаем следующие значения  $\Delta s$ :

Значения $T$	Значения $\Delta s$
10 .	$1,014 - 0,024 = 0,99 \text{ см} = 9,9 \text{ мм}$
20 .	$0,2535 - 0,048 = 0,205 \text{ »} = 2,05 \text{ »}$
30 .	$0,113 - 0,072 = 0,041 \text{ »} = 0,41 \text{ »}$
40 .	$0,0634 - 0,096 = -0,023 \text{ »} = -0,23 \text{ »}$
50 .	$0,046 - 0,12 = -0,079 \text{ »} = -0,79 \text{ »}$
80 .	$0,0158 - 0,192 = -0,176 \text{ »} = -1,76 \text{ »}$
100 .	$0,01 - 0,24 = -0,23 \text{ »} = -2,3 \text{ »}$
150 .	$0,004 - 0,36 = -0,356 \text{ »} = -3,56 \text{ »}$

По найденным значениям  $\Delta s$  строим кривую  $\Delta s = f(T)$ ; эта кривая  $I$  приведена на рис. 21.

#### Варианты заданий к условию задачи 29

№ вариантов по пор.	Диаметр тяги	$l$ в м	Изменение натяжения	$E$
1 .	5	8	10—150	$2,15 \cdot 10^{-6}$
2 .	5	15	10—150	$2 \cdot 10^{-6}$
3 .	5	20	10—150	$2 \cdot 10^{-6}$
4 .	4	15	10—150	$2,15 \cdot 10^{-6}$
5 .	4	20	10—150	$2 \cdot 10^{-6}$

**Задача 30.** Применительно к условиям предыдущей задачи определить, как должно измениться натяжение в ведущем и сдающем проводах гибкой передачи, в которой компенсатор создает натяжение  $T_* = 70 \text{ кг}$ , при разности натяжений в проводах  $T = T_0 - T_0 = 80 \text{ кг}$ .

**Решение.** Взяв отрезок  $AE = T$ , равный по масштабу  $80 \text{ кг}$  (рис. 21), располагаем его по отношению к ординате  $B\Gamma$ , соответствующей  $T_* = 70 \text{ кг}$  так, чтобы изменение длины в ведущем проводе ( $\Delta s_I = B\Gamma$ ) было равно изменению длины в сдающем проводе ( $\Delta s_{II} = B\delta$ ); проведя затем через точки  $\Gamma$  и  $B$  линии  $\Gamma D$  и  $BA$ , параллельные оси абсцисс, мы из точек  $D$  и  $A$ , пересечения указанных линий с кривой  $I$ , опускаем перпендикуляр на ось абсцисс. Отрезок  $BE = T_I = 48 \text{ кг}$  будет изображать изменение натяжения в ве-

дущем проводе (т. е. в нем будет натяжение  $T_0 = T_{II} + T_I = 70 + 48 \text{ кг} = 118 \text{ кг}$ ), а  $BA = T_{II} = 32 \text{ кг}$ —изменение натяжения в следующем проводе (т. е. в нем будет натяжение  $T_0 = T_{II} - T_I = 70 - 32 = 38 \text{ кг}$ ). Разность натяжения в проводах  $T = 118 - 38 = 80 \text{ кг}$ , как было задано.

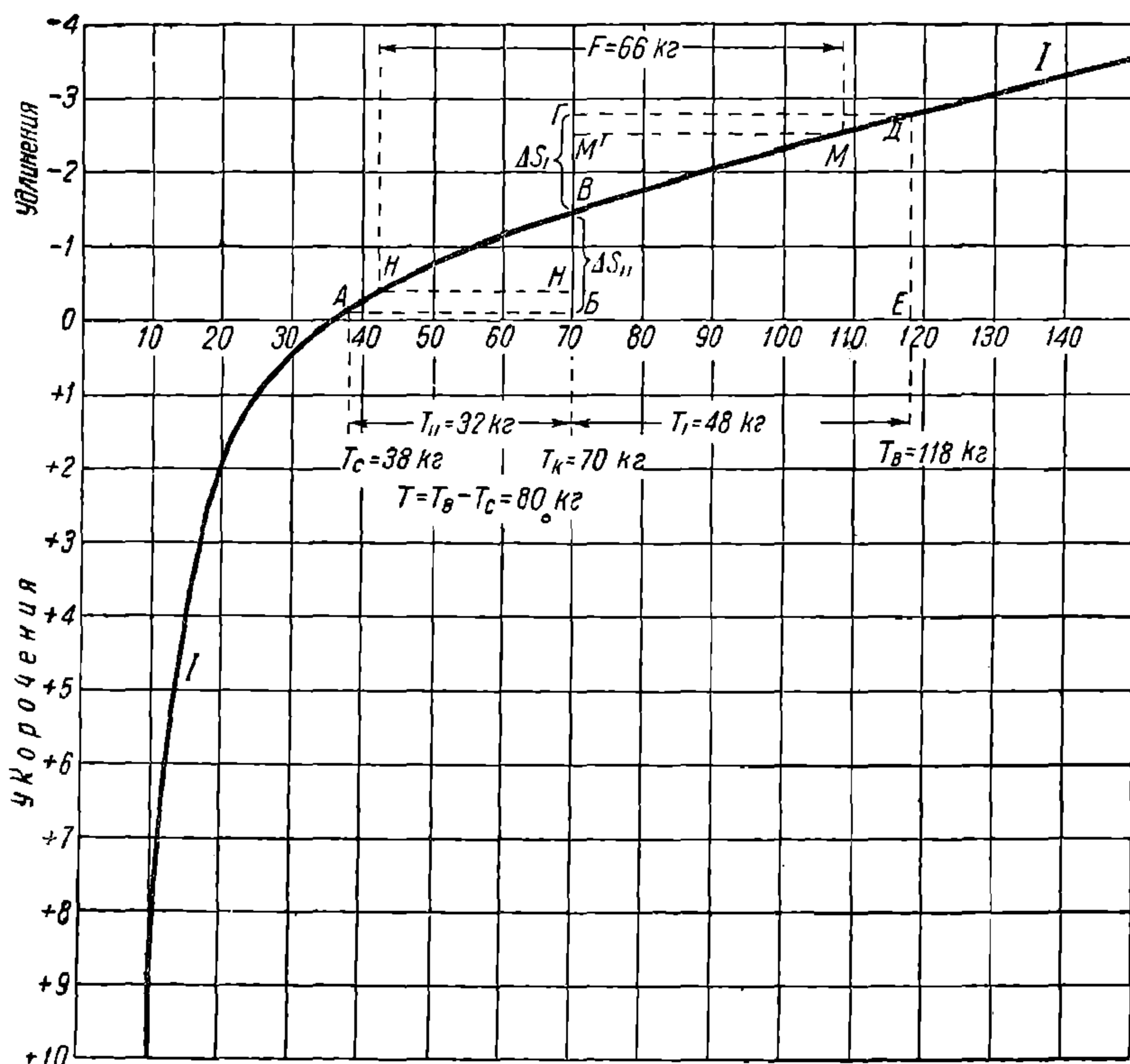


Рис. 21. Кривые изменений длины провода.

**Задача 31.** Определить, какое натяжение в гибких тросах требуется для перевода стрелки с острьяками длиной 6 м, весом  $Q$  по 300 кг каждый, при прикреплении переводной штанги на расстоянии  $a = 0,3 \text{ м}$  от острья острьяка, если усилие для перевода привода-замыкателя  $F_n = 15 \text{ кг}$  и передаточное число от тяг к переводной штанге  $b = 2$ .

**Решение.** Принимая  $f = 0,15$  по формуле (51), имеем для каждого острьяка:

$$F_0 = \frac{0,15 \cdot 300 \cdot 6}{2 \cdot (6 - 0,3)} = 23,7 \text{ кг.}$$

Так как усилие для перевода привода замыкателя  $F_n = 15 \text{ кг}$ , то полное необходимое усилие в конце перевода стрелки будет:

$$F_0 = 23,7 + 15 = 38,7 \text{ кг.}$$

В середине перевода стрелки, когда будут двигаться оба остряка и будет совершаться лишь перевод привода-замыкателя без замыкания его, усилие потребуется:

$$23,7 + 23,7 + \frac{15}{2} = 54,9 \text{ кг.}$$

Таким образом усилие  $F_c$  будет изменяться от 38,7 до 54,9 и затем опять до 38,7 кг. Для создания найденных усилий в гибких тросах потребуется разность натяжений:

а) в конце перевода:

$$T = F_c \cdot \frac{1}{\eta_n} \cdot \frac{1}{b} = 38,7 \cdot \frac{1}{0,95} \cdot \frac{1}{2} = 20,4 \text{ кг;}$$

б) в середине перевода:

$$T = 54,9 \cdot \frac{1}{0,95} \cdot \frac{1}{2} = 28,9 \text{ кг.}$$

#### Варианты заданий по условию задачи 31

№ вариантов по пор.	$Q$	$l$ м	$a$ мм	$b$	$f$	$\eta_n$
1	350	6	360	2	0,18	0,95
2	300	5,5	300	2,27	0,18	0,95
3	400	6	350	2	0,15	0,95
4	275	5	300	2	0,18	0,95

**Задача 32.** Определить сопротивление углового поворотного шкива диаметра  $D = 240$  мм с простым подшипником, установленного в тросах с натяжением  $T = 100$  кг на повороте с углом  $\alpha = 90^\circ$

*Решение.* По формуле (52) имеем:

$$F_{ш} = 0,3 + 7,4 \cdot 100 \cdot \frac{1}{240} \cdot \sin 45^\circ \cdot 1 = 0,3 + 7,4 \cdot 100 \cdot \frac{1}{240} \cdot 0,707 = \\ = 0,3 + 2,18 = 2,48 \cong 2,5 \text{ кг.}$$

#### Варианты заданий по условию задачи 32

№ вариантов по пор.	$D$ мм	Род подшипника	$T$ кг	$\alpha$
1.	130	трения	80	$90^\circ$
2.	270	»	120	$120^\circ$
3.	130	шариковый	80	$90^\circ$
4.	250	»	120	$70^\circ$
5.	140	»	70	$100^\circ$

**Задача 33.** Определить, какая потеря хода произойдет при переводе рычагом стрелочной гибкой передачи из 5-мм провода длиной 400 м при расстоянии между опорами 10 м, если: а) в передаче имеются два простых поворотных на  $90^\circ$  горизонтальных шкива  $D_1 = 240$  мм, 2 простых прижимных отклоняющих на  $45^\circ$  шкива и 1 вертикальный простой поворотный шкив на посту; б) на компенсаторе, расположенном на посту, потеря хода равна 20 мм и усилие для перевода  $F_x = 15$  кг; в) для перевода стрелки требуется усилие в тягах  $F_e = 50$  кг; г) состояние устройств требует введения коэффициента  $\mu = 1,5$ , при расчете сопротивлений по формуле Мюллера (52). Эскиз передачи показан на рис. 22. Натяжение  $F_n$  - создаваемое компенсатором в тягах, принимается равным 70 кг.

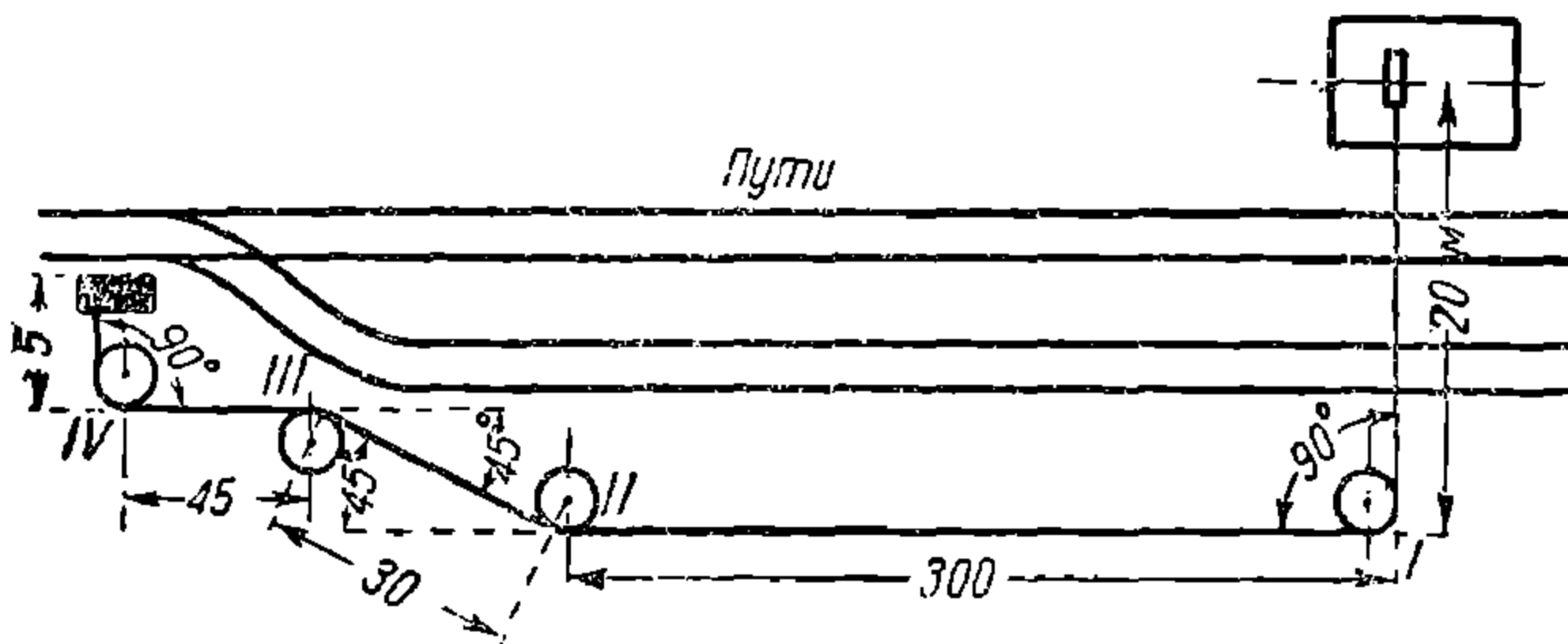


Рис. 22. Эскиз передачи.

**Решение.** Потерей хода вследствие сопротивления вертикального шкива и компенсатора, расположенных на самом посту вблизи рычага, можем пренебречь. Определим по формуле (52) сопротивления угловых  $F_{ум}$  и прижимных  $F_{пш}$  шкивов, принимая  $T = 100$  кг

$$F_{ум} = 1,5 \left( 0,3 + 7,4 \cdot 100 \cdot \frac{1}{240} \cdot \sin 45^\circ \cdot 1 \right) = 1,5 (0,3 + 2,18) = 1,5 \cdot 2,48 = 3,72 \text{ кг.}$$

$$F_{пш} = 1,5 \left( 0,3 + 7,4 \cdot 100 \cdot \frac{1}{140} \cdot \sin 22,5^\circ \cdot 1 \right) = 1,5 \left( 0,3 + 7,4 \cdot 100 \cdot \frac{1}{140} \cdot 0,383 \right) = 1,5 (0,3 + 2,03) \cong 3,5 \text{ кг.}$$

Так как в тянущем проводе при переводе потребуется натяжение свыше натяжения 70 кг, создаваемого компенсатором, то потери хода, как это видно по характеру кривой I рис. 21, в области натяжений  $> 70$  кг будут главным образом обусловлены упругим удлинением провода тяг. Так как упругие удлинения пропорциональны произведению силы на длину провода, т. е.  $T \cdot l$  или  $F \cdot l$ , то для упрощения расчета целесообразно сопротивление промежуточных частей передачи (угловых и прижимных шкивов) отнести к местоположению стрелочного привода; указанное отнесение производится по формуле:

$$F_{ум} \cdot l_{ум} = F'_{ум} \cdot l, \quad (54)$$

где:

- $F_{ум}$  — сопротивление углового шкива,
- $l_{ум}$  — расстояние его от рычага,
- $F'_{ум}$  — приведенное сопротивление шкива,
- и  $l$  — длина всей передачи.



По формуле (54) находим приведенные сопротивления шкивов I, II, III и IV (рис. 22):

$$I. F'_{уш} = \frac{3,72 \cdot 20}{400} = 0,186 \text{ кг},$$

$$II. F'_{пш} = \frac{3,5 \cdot 320}{400} = 2,80 \text{ кг},$$

$$III. F'_{пш} = \frac{3,5 \cdot 350}{400} = 3,06 \text{ кг}.$$

$$IV. F'_{уш} = \frac{3,72 \cdot 395}{400} = 3,68 \text{ кг}.$$

Полное приведенное сопротивление шкивов равно  $9,726 \text{ кг} \cong \cong 9,73 \text{ кг}$ .

Кроме сопротивления шкивов мы имеем еще сопротивление промежуточных роликов; его мы принимаем  $1,5 \cdot 0,2 = 0,3 \text{ кг}$  на каждую опору; число  $n$  опор при пролете  $10 \text{ м}$  и длине передачи  $l = 400 \text{ м}$  получается равным:

$$\frac{400}{10} - 1 = 39.$$

Общее сопротивление промежуточных роликов будет равно:

$$F_p = 0,3 \cdot 39 = 11,7 \text{ кг}.$$

Ввиду равномерного распределения роликов вдоль всей длины передачи, сопротивление  $F_p$  можно считать приложенным в середине передачи; при таком условии приведенное к местоположению привода сопротивление роликов будет равно:

$$F'_p = F_p \frac{200}{400} = 5,85 \text{ кг}.$$

Прибавляя к сопротивлению привода  $F_0 = 50 \text{ кг}$  приведенные сопротивления шкивов и роликов, получим сопротивление, которое надо преодолеть при переводе:

$$F = F_0 + F'_{ш} + F'_p = 50 + 9,73 + 5,85 = 65,58 \cong 66 \text{ кг};$$

Это сопротивление преодолевается разностью натяжений тг, т. е.  $F$  должно равняться  $T_e - T_c$ .

Далее аналогично задаче 30-й находим распределение натяжений в тгях при переводе; оно нанесено на рис. 21;  $T_e$  получилось равным:

$$70 + 38 = 108 \text{ кг} \text{ и } T_c = 70 - 28 = 42 \text{ кг}.$$

Потеря хода в одном пролете ведущего провода при изменении в нем натяжения от  $70$  до  $108 \text{ кг}$  выразится отрезком орди-

наты  $BM' = 1,05$  мм (рис. 21). Потеря хода во всей передаче, т. е. в 39 пролетах, будет равна:

$$39 \cdot 1,05 = 41 \text{ мм.}$$

В действительных условиях потеря хода обычно получается несколько больше (вследствие вытягивания канатиков, подвижности опор, влияния спаек, отличия свойств провода от принятых и т. п.); оценивая указанные влияния коэффициентом  $\eta = 1,3$ , получим потерю хода

$$41 \cdot 1,3 = 53 \text{ мм.}$$

К этой потере надо прибавить еще потерю хода на компенсаторе 20 мм, и тогда общая потеря хода составит:

$$53 + 20 = 73 \text{ мм.}$$

**Задача 34.** Определить, в какой степени будет обеспечено замыкание стрелки при потере хода, найденном в предыдущей задаче, если ход привода равен 240 мм и замыкающий ход равен 60 мм. Передаточное число от тяг к переводной штанге равно 2.

*Решение.* Переданный приводу ход будет равен:

$$l_n = \frac{500 - 73}{2} = 213,5 \text{ мм.}$$

Так как переводной ход  $(240 - 60) = 180$  мм, то, следовательно, на замыкание остается:  $213,5 - 180 = 33,5$  мм, что достаточно обеспечивает надежность замыкания.

**Задача 35.** Определить, какое усилие потребуется приложить на рычаге для перевода стрелки по условиям задачи 33, если известно, что передаточное число от рычага к тягам равно 2,6.

*Решение.* Полное сопротивление всех включенных в тяги приборов будет равно:

1. Вертикальный шкив .	3,72 кг (как и угловой)
2. Компенсатор . . .	15 кг
3. 2 угловых шкива .	$2 \cdot 3,72 = 7,44$ кг
4. 2 прижимных шкива	$2 \cdot 3,5 = 7$
5. 39 опорных роликов .	$39 \cdot 0,3 = 11,7$
6. Стрелочный привод	50 "
7. Переводный рычаг.	$\cong 2$ "
	<hr/>
Всего .	$96,86 \cong 97$ кг

Для перевода потребуется усилие на рукоятке рычага:

$$\frac{97}{2,6} = 37,3 \text{ кг,}$$

что несколько выше нормально допускаемого усилия (30 кг), но ниже предельного усилия (40 кг).

**Задача 36.** Определить, на сколько увеличится переданный к приводу ход вследствие сил инерции, если стрелка, рассмотренная

в задаче 33, переводится рычагом в 2 сек.; передаточное число от тяг к приводу  $b = 2,25$ ; вес остряка  $Q = 300$  кг, длина его 6 м и прикрепление тяг на 400 мм от острия его; вес движущихся частей привода равен 50 кг.

*Решение.* Увеличение хода по инерции определяется по формуле:

$$S = \frac{M_m \cdot v^2 + M_n \cdot \left(\frac{v}{b}\right)^2}{b \left(\frac{1}{2} F_m + F_c\right)}, \quad (55)$$

где

$M_m$  — масса тяг;

$M_n$  — масса привода с одним остряком (считая, что второй в конце хода стоит);

$v$  — скорость передвижения;

$b$  — передаточное число от тяги к приводу;

$F_m$  — сопротивление тяг;

$F_c$  — привода с остряками.

Для 5-мм тяги  $M_m$  на 100 м двойной тяги составит:

$$\frac{2 \cdot 15,6}{9,81} = 3,18 \text{ кг} \frac{\text{сек}^2}{\text{м}}.$$

Приведя вес остряка к месту прикрепления переводной тяги, получим приведенный вес равным:

$$\frac{300 \cdot 3}{(6 - 0,4)} = 160 \text{ кг}.$$

Входящая в формулу (55) масса  $M_n$  будет равна:

$$\frac{1}{9,81} (160 + 50) = 21,4 \text{ кг} \frac{\text{сек}^2}{\text{м}}.$$

Как подсчитано в задаче 35, сопротивление приборов в тягах  $F_m = 47$  кг и сопротивление привода  $F_c = 50$  кг. Так как рычаг переводится в 2 сек., совершая при этом путь 0,5 м, то скорость  $v = 0,25$  м/сек. Подставляя в уравнение (55) найденные выше величины, получим:

$$\begin{aligned} S &= \frac{3,18 \cdot \frac{l}{100} \cdot 0,25^2 + 21,4 \left(\frac{0,25}{2,25}\right)^2}{2,25 \left(\frac{1}{2} \cdot 47 + 50\right)} = \frac{3,18 \cdot 4 \cdot 0,0625 + 21,4 \cdot 0,0123}{2,25 \cdot 73,5} = \\ &= \frac{0,795 + 0,263}{165,4} = \frac{1,058}{165,4} = 0,0064 \text{ м} = 6,4 \text{ мм}. \end{aligned}$$

НТБ  
ДНУЖТ

Таким образом за счет действия сил инерции в конце перевода стрелки получится частичная компенсация потери хода на 6,4 мм; эта компенсация сравнительно с общей потерей хода (73 мм в задаче 33) составляет небольшой процент ( $\sim 8,75\%$ ).

#### ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахнин, Теория и динамометрическое исследование работы гибких переключателей для управления стрелками и сигналами. Изд. Юго-Западных жел. дорог. 1928.
  2. Müller. Mechanische Weichenbedienung auf grosse Entfernungen. Zeitschrift für das gesamte Eisenbahn-Sicherungswesen, 1931 (стр. 73, 113, 137, 157, 192, 201) и 1932 (стр. 18, 72)
  3. Гибшман, Соединения путей. Транспечать, 1925.
-

## V РАСЧЕТЫ ПО СТРЕЛОЧНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ

Для электрического управления стрелками применяются почти исключительно моторы с последовательным возбуждением (сериесные); передача от мотора к шиберу состоит из двух каскадов зубчатых колес и червячной передачи или 3—4 каскадов только зубчатых колес; соотношения числа оборотов мотора  $n_m$  и числа оборотов последней шестеренки  $n_{ш}$  определяется произведением передаточных чисел промежуточных передач, т. е.

$$n_{ш} = n_m \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3, \quad (56)$$

где  $a_1, a_2, a_3$ —передаточные числа промежуточных каскадов зубчатых колес. Момент вращения  $M$  моторов с последовательным возбуждением зависит только от силы тока  $I$ ; при возбуждении током  $I$ , не дающим магнитного насыщения железа,  $M \equiv C \cdot I^2$ , при достижении же насыщения железа  $M \equiv C \frac{I^2}{\beta + \gamma I}$ , т. е. пропорционален приблизительно первой степени тока.

Величина напряжения на клеммах мотора не оказывает никакого влияния на момент вращения; наоборот, число оборотов мотора почти пропорционально напряжению на клеммах мотора. Таким образом в основном ток в моторе определяет его вращающий момент, напряжение же на клеммах—число оборотов мотора.

Так как аналитические зависимости для практических решений задач с сериесными моторами оказываются далеко не точными, то чаще всего пользуются графическими зависимостями между величинами, характеризующими работу мотора, в виде скоростных, нагрузных и т. п. характеристик. Последние находятся экспериментальным путем. Предлагаемые далее задачи построены на использовании подобных графических характеристик.

Полный к. п. д. электропривода  $\eta$  определяется, как отношение полезно отданной на шибере энергии  $P_n$  к полной подведенной к мотору энергии  $P$ , т. е.

$$\eta = \frac{P_n}{P};$$

аналогично определяется и к. п. д. мотора  $\eta_1$ ; последний, т. е.  $\eta_1$ , можно рассматривать, как произведение двух к. п. д.: а) электрического  $\eta_э$ , б) механического  $\eta_м$ .



Таким образом

$$\eta_1 = \eta_a \cdot \eta_m. \quad (57)$$

К. п. д.  $\eta_a = \frac{P_1 - p}{P_1}$ , где  $P_1$  обозначает подводенную мощность, а  $p$  — мощность, расходуемую на нагревание якорной и серийной обмотки.

**Задача 37.** Передача от стрелочного мотора к приводному шиберу состоит из:

- а) одного каскада цилиндрических зубчаток с отношением 1:1,6;
- б) двухходового червяка, действующего на червячное колесо с 54 зубцами;
- в) шестерни, сцепляющейся с шиберной рейкой и имеющей диаметр начальной окружности  $d = 96,6$  мм.

Определить:

- а) на какой угол должна поворачиваться шиберная шестеренка для сообщения шиберу хода в 240 мм;
- б) сколько оборотов при этом должен сделать мотор (не учитывая работу на фрикцию); и
- в) в какое время произойдет при этом полный перевод стрелки, если мотор делает при имеющейся нагрузке 1400 оборотов в 1 сек.

*Решение.* Угол поворота шиберной шестерни определяется из уравнения:

$$240 = \frac{\pi \cdot 96,6 \cdot X}{360},$$

где  $X$  — искомое число градусов; оно получится равным:

$$X = \frac{240 \cdot 360}{\pi \cdot 96,6} = 285^\circ.$$

Общее передаточное число от мотора к шиберной рейке по данным задачи будет:

$$\frac{1}{1,6} \cdot \frac{2}{54} = \frac{1}{43,2};$$

поэтому когда шиберная шестерня повернется на  $\frac{285}{360} = 0,792$  оборота, мотор должен повернуться на  $0,792 \cdot 43,2 = 34,2$  оборота.

Для перевода стрелки потребуется времени:

$$34,2 : \frac{1400}{60} = 1,47 \cong 1,5 \text{ сек.}$$

**Задача 38.** При испытаниях стрелочного мотора получены скоростные характеристики  $n = f(P)$ , при разных напряжениях на клеммах мотора, показанные на рис. 23. Построить по указанным характеристикам кривые, выражающие зависимость числа оборотов мотора от напряжения на клеммах его [т. е.  $n = f(U)$ ].

*Решение.* Ординаты, соответствующие определенным нагрузкам на рис. 23 (например 60, 80, 100, 150 кг), откладываем вверх от оси абсцисс на рис. 24 соответственно напряжениям, показанным у кривых рис. 23 (60, 80, 100 и 120 V; таким образом на рис. 24 получаем четыре кривых I, II, III и IV —  $n = f(U)$  для нагрузок 60, 80, 100 и 150 кг, весьма близко приближающиеся к прямым, как и следует ожидать согласно разъяснений, данных во введении к настоящему разделу (число оборотов мотора приближенно пропорционально напряжению на клеммах его).

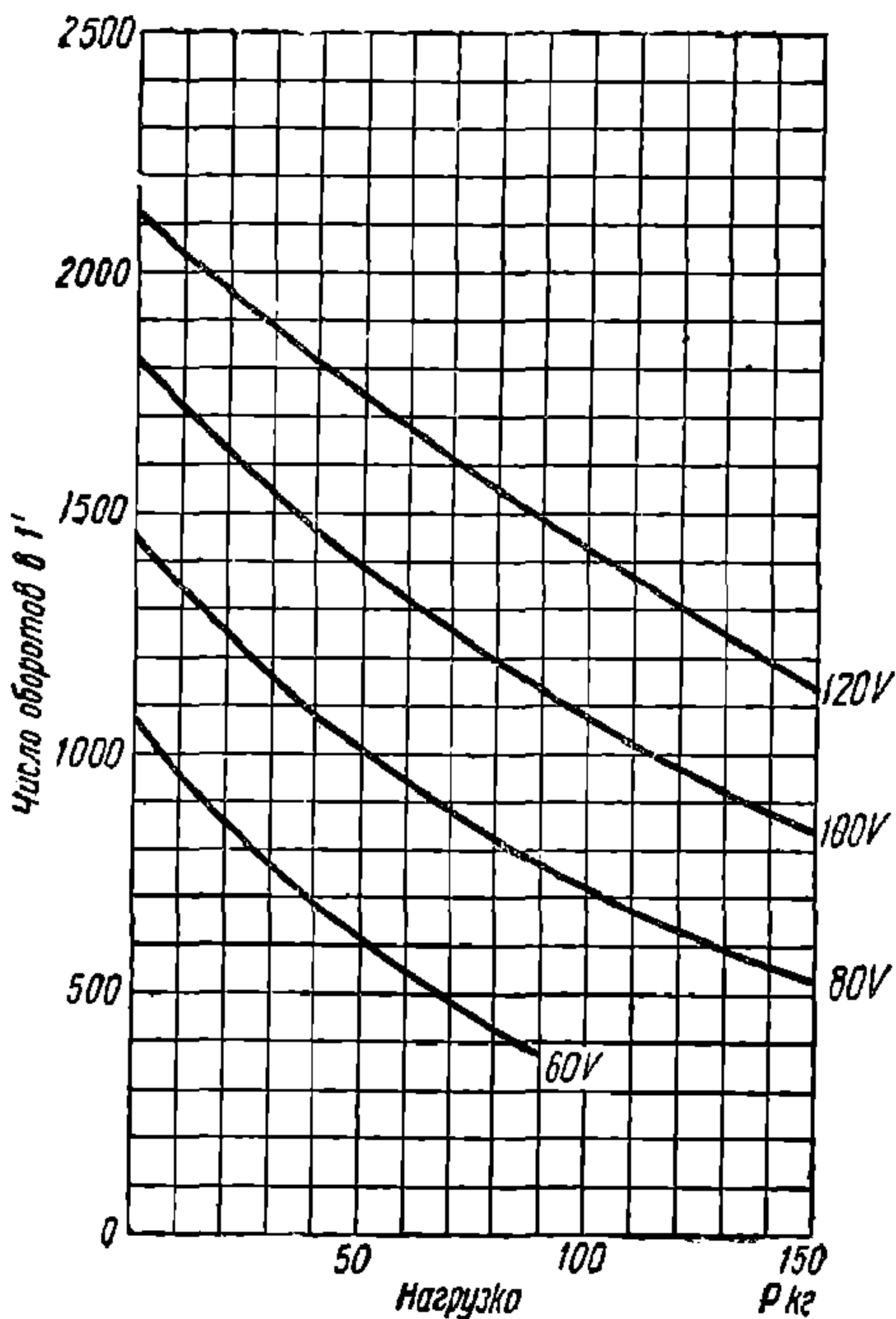


Рис. 23. Кривые  $n = f(P)$ .

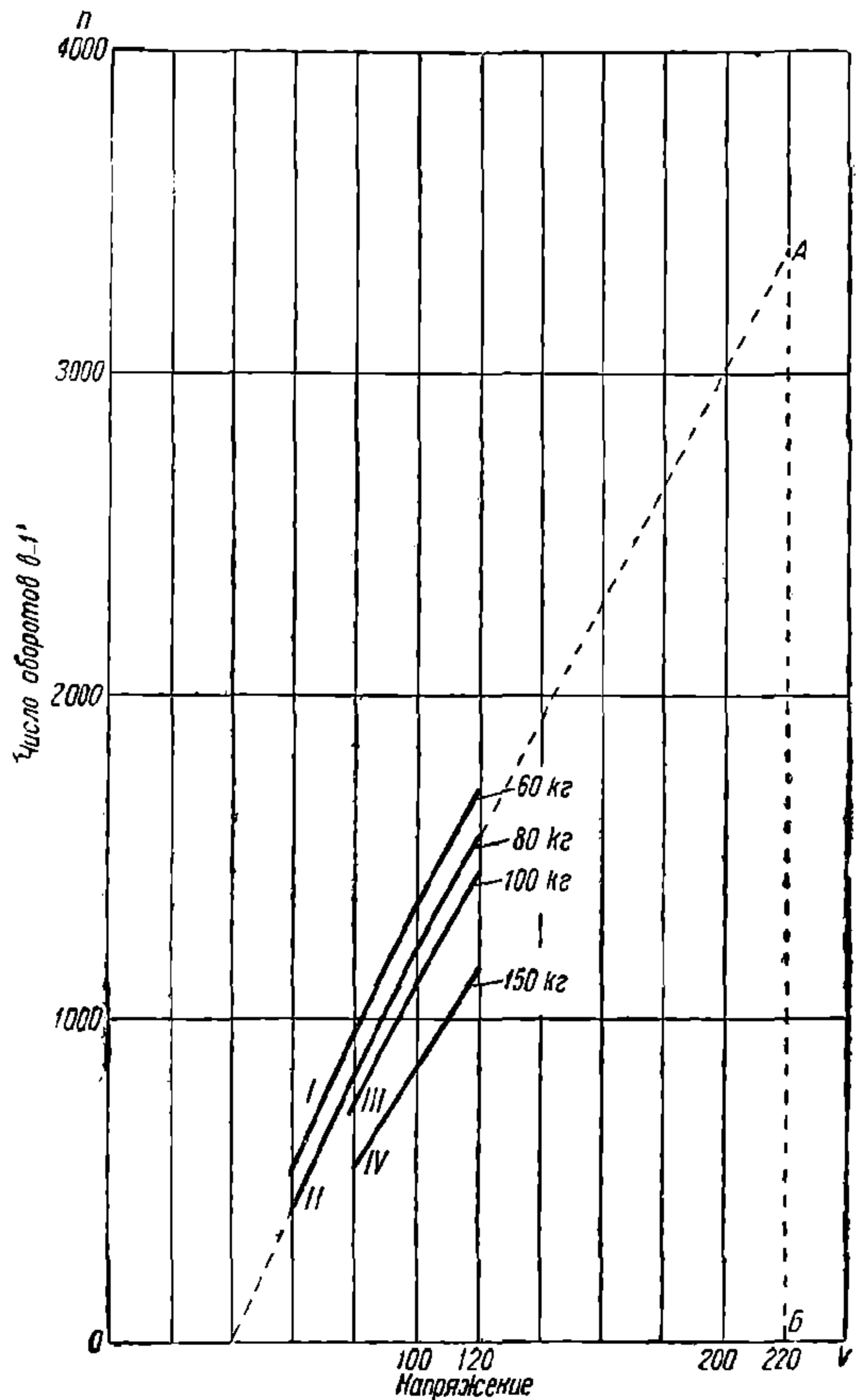


Рис. 24.  $n = f(U)$ .

**Задача 39.** Определить, в какое время будет переведена стрелка, оказывающая на шибере сопротивление переводу в 80 кг, если мотор ее имеет скоростную характеристику  $n = f(U)$ , указанную на рис. 24, и к клеммам его подведено напряжение в 220V; стрелочный привод имеет передачу, указанную в задаче 37.

*Решение.* Если на рис. 24 прямую II, соответствующую нагрузке на шибере в 80 кг, продолжить до пересечения в точке А с ординатой АБ, проведенной соответственно напряжению 220V на клеммах мотора, то мы найдем, что ордината АБ соответствует

скорости в 3380 оборотов в 1 сек. Так как для перевода, согласно данным задачи 37, требуется 34,2 оборота мотора, то перевод при найденной скорости мотора будет совершен в

$$34,2 : \frac{3380}{60} = 0,61 \text{ сек.}$$

Как видно из полученного результата, повышение напряжения на клеммах мотора до 220V значительно повышает скорость перевода стрелки, что особенно необходимо для централизованных стрелок на сортировочных горках.

### Варианты заданий к условию задачи 39

Решить задачу при сопротивлении стрелки переводу в 1) 60 кг<sup>2</sup>  
2) 100 кг и 3) 150 кг.

**Задача 40.** Согласно исследований стрелочного электропривода завода им. Казицкого установлена зависимость нагрузки  $P$  на шибере от тока  $I$  в моторе, указанная на рис. 25 в виде прямой  $I$ .

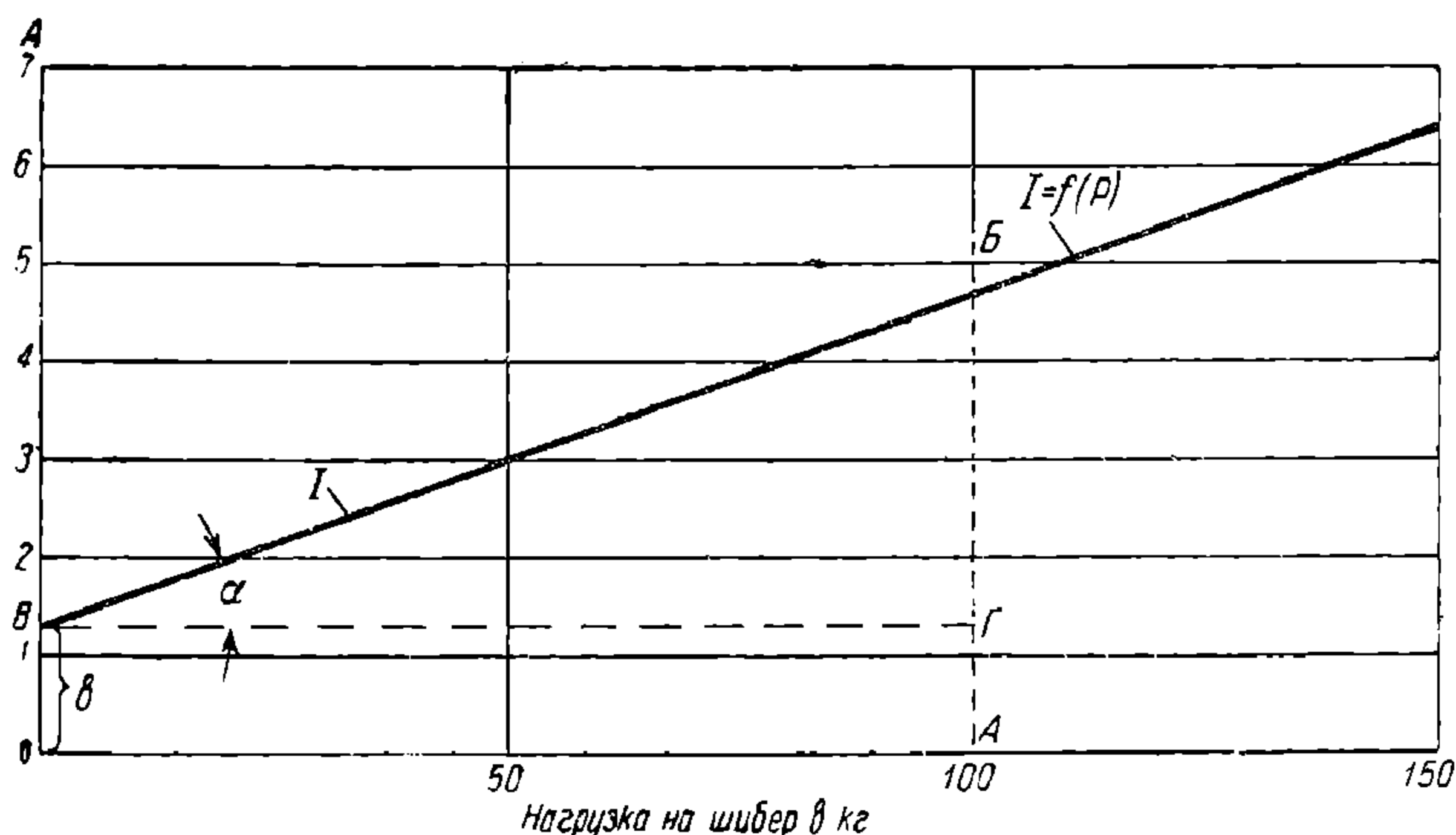


Рис. 25. Кривые  $I=f(P)$ .

Выразить приведенную графически зависимость уравнением и определить по нему усилие, развиваемое при пуске, если известно что пусковой ток достигает 11,7 А.

**Решение.** По правилам аналитической геометрии, уравнение прямой, проходящей под углом  $\alpha$  к оси абсцисс и отсекающей на оси ординат отрезок  $b=OB$ , будет:

$$Y = mX + b, \text{ где } m = \operatorname{tg} \alpha.$$

На рис. 25 отрезок  $b=OB=1,3$  А; ординаты обозначают ток  $I$ , а абсциссы—нагрузку на шибере  $P$ , при чем по масштабу на рис. 25 одна большая клетка по ординате соответствует 1 А, а по абсциссе—

10 кг, что надо учесть при расчете. Величина  $\operatorname{tg} \alpha$  легко находится в виде отношений отрезков  $\frac{БГ}{ВГ}$ ; имея  $БГ = 22,4$  мм и  $ВГ = 66$  мм, получим

$$\operatorname{tg} \alpha = m = 0,34.$$

Таким образом получаем, что показанная на рис 25 зависимость может быть выражена уравнением:

$$I = 0,34 \cdot P + 1,3.$$

Подставляя в найденное уравнение пусковой ток 11,7А, получим уравнение:

$$11,7 = 0,34P + 1,3,$$

откуда находим искомое усилие  $P$  (в десятках килограммов), развиваемое на шибере при пуске электропривода:

$$P = \frac{11,7 - 1,3}{0,34} = 30,6 \text{ десятков кг, или } 306 \text{ кг.}$$

По полученным результатам видим, что во время пуска развивается на шибере усилие, значительно превосходящее обычное сопротивление стрелки переводу ( $\approx 100$  кг); избыток развиваемого усилия идет на преодоление сил инерции всех подвижных частей стрелки и привода-замыкателя, быстро сообщая им необходимое для перевода ускорение.

**Задача 41.** Стрелка питается от батареи в 136V по проводам сопротивлением  $R = 5 \Omega$ . В виду ухудшения очистки стрелки сопротивление ее переводу повысилось до 150 кг на шибере. Определить, в какое время будет переводиться стрелка, если характеристика ее электропривода  $I = f(P)$  дана на рис. 25 и  $n = f(U)$  на рис. 24.

Стрелочный привод имеет ту же передачу, что и в задаче 37.

**Решение.** По рис. 25 при  $P = 150$  кг имеем  $I = 6,4$  А. Падение напряжения в проводах при указанном токе будет:

$$I \cdot R = 6,4 \cdot 5 = 32V.$$

Следовательно, на клеммах мотора окажется напряжение:

$$136 - 32 = 104V.$$

По характеристикам рис. 24 при  $U = 104V$  и  $P = 150$  кг число оборотов мотора будет  $n = 900$ .

При найденном числе оборотов потребуется для перевода стрелки время:

$$34,2 : \frac{900}{60} = 2,28 \text{ сек.}$$

**Задача 42.** Стрелочный мотор, имеющий сопротивление якоря  $R_{\text{я}} = 3,1 \Omega$  и обмоток возбуждения  $R_{\text{в}} = 3,6 \Omega$ , работает при нагрузке,

потребляя силу тока в среднем  $I = 5,25 \text{ A}$  при напряжении на клеммах  $U = 108 \text{ V}$ . Зная, что полный к. п. д. мотора при указанной работе равен  $\eta_1 = 0,59$ , определить электрический и механический к. п. д. электромотора,

*Решение.* По формуле (57) полный к. п. д.  $\eta_1$  равен:

$$\eta_1 = \eta_\theta \cdot \eta_m.$$

Электрический к. п. д. электропривода равен:

$$\eta_\theta = \frac{P_1 - p}{P_1};$$

По данным задачи

$$P_1 = 108 \cdot 5,25 = 567 \text{ W};$$

$$a \ p = I^2 (R_s + R_r) = 5,25^2 (3,1 + 3,6) \cong 185 \text{ W}.$$

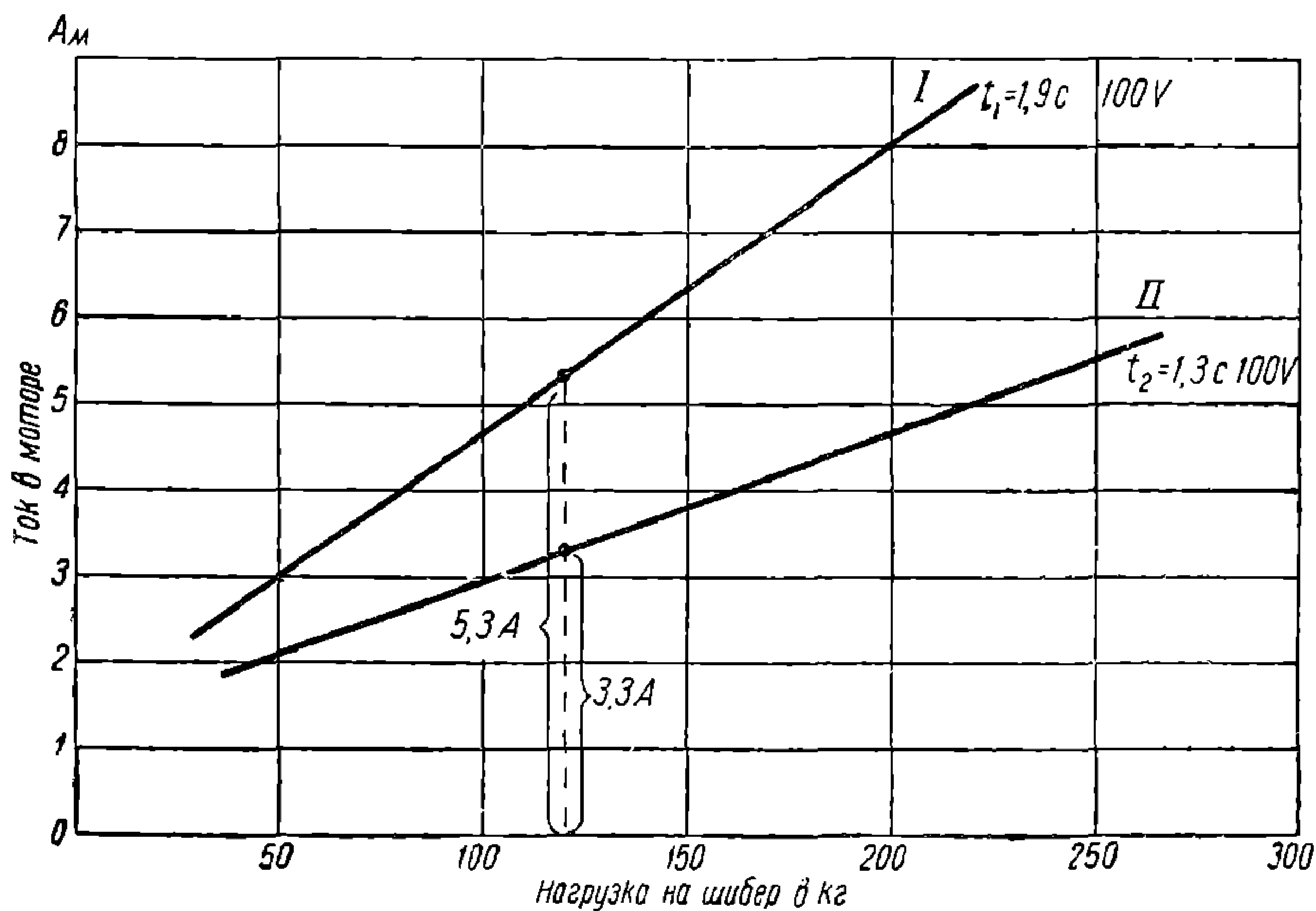


Рис. 26. Нагрузочные характеристики.

Таким образом:

$$\eta_\theta = \frac{567 - 185}{567} = \frac{382}{567} = 0,673 = 67,3\%.$$

Механический к. п. д. получится равным:

$$\eta_m = \frac{\eta_1}{\eta_\theta} = \frac{0,59}{0,673} = 0,875 = 87,5\%.$$

По полученным результатам видим, что невысокий к. п. д. мотора главным образом объясняется его невысоким электрическим к. п. д.

**Задача 43.** На рис. 26 приведены две нагрузочные характеристики: 1) для электропривода завода им. Казицкого и 2) для электропривода голландского типа. Определить к. п. д. первого и второго

приводов, если известно, что: а) оба привода работают при напряжении на клеммах  $U = 100 \text{ V}$ ; б) при нагрузке на шибере в  $120 \text{ кг}$  первый привод переводит стрелку в  $t_1 = 1,9 \text{ сек.}$ , а второй—в  $t_2 = 1,3 \text{ сек.}$  и в) ход приводов первого  $220 \text{ мм}$  и второго— $162 \text{ мм}$ .

*Решение.* По рис. 26 имеем расход тока при нагрузке  $120 \text{ кг}$  в первом приводе  $I_1 = 5,3 \text{ A}$  и во втором  $I_2 = 3,3 \text{ A}$ . Потребление энергии за время перевода:

а) в первом приводе

$$P_1 = I_1 \cdot U \cdot t_1 = 5,3 \cdot 100 \cdot 1,9 = 1007 \text{ J};$$

б) во втором приводе

$$P_2 = I_2 \cdot U \cdot t_2 = 3,3 \cdot 100 \cdot 1,3 = 430 \text{ J}.$$

Полезно отданная энергия составит:

а) в первом приводе:

$$P = 120 \cdot 0,22 \cdot 9,81 = 259 \text{ J};$$

и б) во втором приводе:

$$P = 120 \cdot 0,162 \cdot 9,81 = 191 \text{ J}.$$

Наконец искомые к. п. д. получаются:

а) для первого привода:

$$\eta_1 = \frac{259}{1007} = 0,257 = 25,7\%$$

б) для второго привода:

$$\eta_2 = \frac{191}{430} = 0,445 = 44,5\%$$

Из полученных результатов видим, что к. п. д. голландского привода значительно выше к. п. д. привода завода им. Казицкого; это объясняется более высоким к. п. д. мотора и зубчатой передачи в нем, состоящей полностью из цилиндрических зубчатых колес, тогда как у привода завода им. Казицкого имеется самотормозящая червячная передача, к. п. д. которой особенно при невысоком качестве выполнения может понизиться до 0,4.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лупал. Электрическая централизация стрелок. Трансжелдориздат, 1934 (стр. 25—42).
2. Равич. Результаты исследования электрических стрелочных приводов. Журнал „Сигнализация и связь на ж.-д. транспорте“. Трансжелдориздат, 1933, № 11, стр. 22.
3. Магский. Стрелочный электромотор в электрической системе железнодорожной централизации. Журнал „Электросвязь“ № 4, 1928, стр. 32—36.
4. Ниттгаммер. Электромоторы, их работа и применение. Изд. „Наука и жизнь“, Берлин (стр. 23—26), библиотека „Гешен“.
5. Hütte. Справочник инженера. Том. II. Гос. техническое издательство, 1931 (стр. 280).

## **VI СОСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЕЙ ЦЕНТРАЛИЗУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ, ТАБЛИЦ ВЗАИМОЗАМКАНИЯ И СХЕМ ЯЩИКОВ ЗАВИСИМОСТИ**

Для составления перечней централизуемых объектов, таблиц взаимозамыкания и схем ящиков зависимости трудно дать общие указания, так как построение их зависит как от условий движения и подходов к станциям, так и от планов путей станций, которые по своей конфигурации и порядку использования могут быть весьма разнообразными. Относя отдельные указания к пояснениям, даваемым в решениях задач настоящего отдела, здесь отметим следующие важные моменты:

1. В перечень централизуемых стрелок должны включаться не только стрелки, лежащие на путях следования организованных поездов, но и те стрелки, которые можно использовать в качестве охранных стрелок, играющих весьма большую роль в ограждении безопасности движения организованных поездов от наездов других составов со стороны путей, примыкающих к маршрутному пути.

2. При большой взаимной связанности намеченных маршрутов (обилие враждебных друг другу маршрутов) необходимо изыскивать способы возможного развязывания враждебности посредством некоторых целесообразных переключений стрелок или путей.

3. Намеченные таблицей взаимозамыкания зависимости маршрутов должны быть симметричны относительно диагонали таблицы зависимости маршрутов.

4. Построение схемы ящика зависимости должно, естественно, вытекать из таблицы взаимозамыкания, на основе применения для ее типичных замыканий—установленных замычек или комбинаций их.

**Задача 44.** Станция, план путей которой показан на рис. 27, подлежит оборудованию механической централизацией. Пути специализируются, кроме пути VII, предназначенного для сборных товарных поездов. Составьте перечень маршрутов и централизуемых стрелок; расставьте сигналы, дав им обозначения по системе Транс-сигналстроя; разбейте станцию на районы по постам и укажите, на сколько мест надо взять аппаратные станины для каждого поста.

**Решение.** Для направления движения со стороны С намечаем приемноотправочные пути: I, V и VI—специализированные и VII—для сборных поездов, неспециализированный; для направления движения со стороны Ю имеем аналогично пути: II, III и IV—спе-



циализированные и путь VII—неспециализированный. При указанном распределении путей получим следующий перечень маршрутов.

Для конца С станции:

1. Прием на путь I от С.
2. Прием на путь V от С.
3. Прием на путь VI от С.
4. Прием на путь VII от С.
5. Отправление на С с пути II.
6. Отправление на С с пути III.
7. Отправление на С с пути IV.
8. Отправление на С с пути VII.

Для конца Ю станции:

1. Прием на путь II от Ю.
2. Прием на путь III от Ю.
3. Прием на путь IV от Ю.
4. Прием на путь VII на Ю.
5. Отправление на Ю с пути I.
6. Отправление на Ю с пути V.
7. Отправление на Ю с пути VI.
8. Отправление на Ю с пути VII.

Предполагаем, что по условиям работы станции сквозных маршрутов не требуется. Все стрелки, лежащие на путях организованных маршрутов, намечено централизовать; в качестве охранных

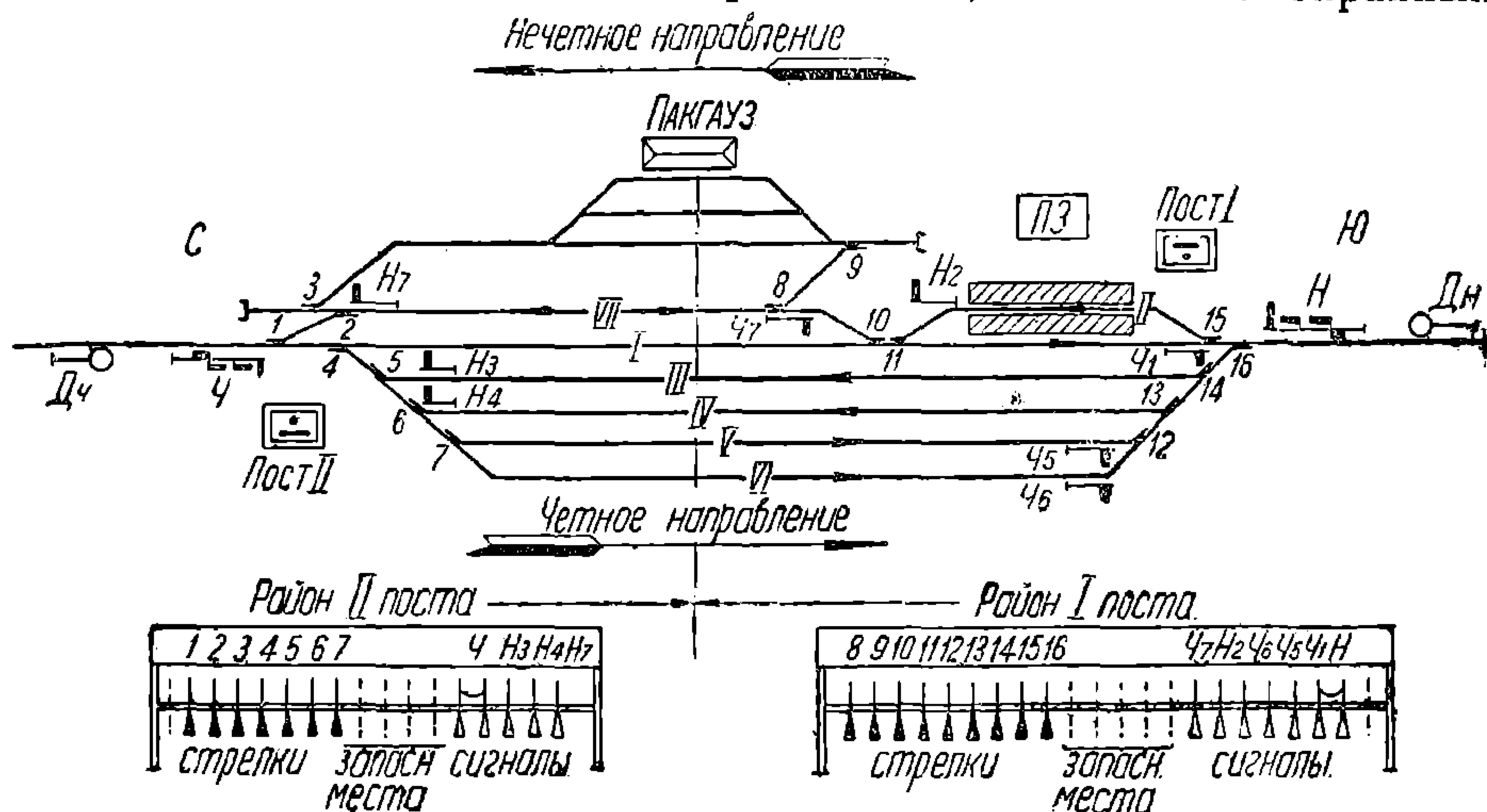


Рис. 27. План путей.

централизуются также стрелки 3 и 9, лежащие на пакгаузных путях; остальные стрелки на указанных путях остаются на ручном обслуживании; всего централизуются 16 стрелок.

Для сигнализации намеченных маршрутов устанавливаем следующие сигналы:

I. Для нечетного направления:

а) входной трехкрылый—Н; сигнализирует крыльями соответственно прием на путь II, на путь VII и на пути (III—IV);

б) выходные  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$  и  $H_7$  для отправления соответственно с путей II, III, IV и VII.

II. Для четного направления:

а) входной трехкрылый—Ч для приема соответственно на пути I, VII и (V—VI);

б) выходные  $Ч_1$ ,  $Ч_5$ ,  $Ч_6$  и  $Ч_7$  для отправления соответственно с путей I, V, VI и VII. Перед входными семафорами устанавли-

НЕ  
ДУЖТ

ваются предупредительные диски  $D_4$  и  $D_n$ . Третье крыло снабжается автоматом и переводится вместе со вторым крылом при наличии тока в автомате (при соответствующих маршрутах).

Для дополнительного ограждения установки тормозных башмаков не требуется, так как со стороны пакгаузных путей организованное движение защищено охранными стрелками 3 и 9. На станции намечаются два поста. Районы постов разделяются, как указано на рис. 27. Рычагов на посту II требуется установить: 7 стрелочных, 2 сигнальных спаренных для сигнала Ч и три сигнальных одиночных для сигналов  $H_3$ ,  $H_4$  и  $H_7$ . Всего на посту II потребуется 12 рычажных мест; учитывая необходимость запасных мест, берем 18-рычажную станину. На посту I потребуется, как видно из рис. 27, 16 рычажных мест; берем 22-местную рычажную станину.

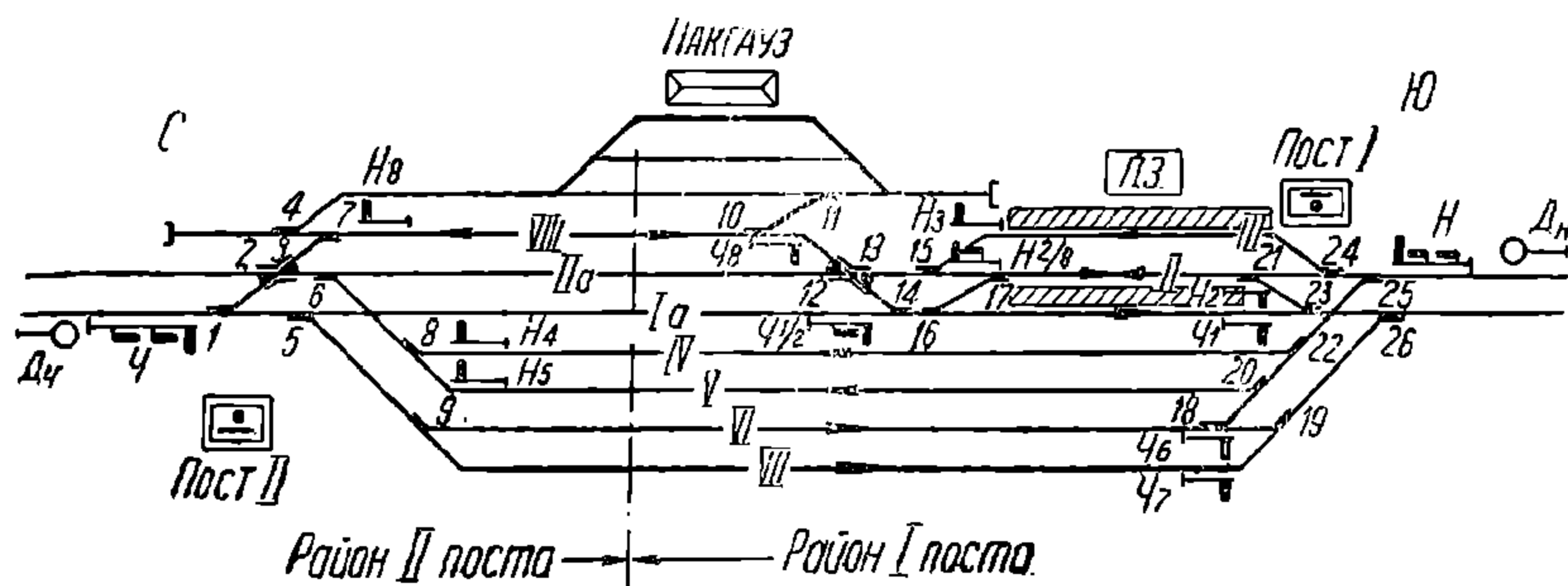


Рис. 28. План путей.

**Задача 45.** Станция, изображенная на рис. 27, ввиду постройки второго пути на участке, была переустроена и получила вид, указанный на рис. 28. В связи с переустройством потребовалось переделать сигнализацию и централизацию; маршруты на переустроенной станции специализированы, за исключением путей II и VIII (последний предназначен для сборных поездов).

Расставьте на станции сигналы по маршрутам, укажите централизуемые стрелки и подсчитайте, возможно ли будет развитие централизации осуществить на установленных уже рычажных станинах.

**Решение.** Маршруты на станции после переустройства намечены аналогично предыдущей задаче, они указаны на плане рис. 28 указательными стрелками на путях. Большинство сигналов, установленных на станции до переустройства, остается; частично сигналы переставляются на новые места. В виду того, что со стороны Ю по пути II происходит, кроме приема пассажирских поездов, еще пропуск сборных поездов на путь VIII, перед стрелкой 17 поставлен 2-крылый светофор  $H^2/8$ , сигнализирующий одним крылом: отправлено со второго пути на С и двумя крылами: пропуск по II пути на путь VIII. Аналогично сигнализирует и двукрылый семафор  $Ч^{1/2}$  при приеме пассажирских поездов по пути Ia на путь I или II. Установка упомянутых семафоров полезна, так как, не задерживая поезда у входных семафоров, возможно принять их до семафоров  $Ч^{1/2}$  или  $H^2/8$ , если соответствующие приемные пути не свободны.

В связи с развитием путей число централизуемых стрелок, отмеченных на плане, увеличилось до 24, при чем стрелки  $2/3$  и  $12/13$  — перекрестные простые.

Распределение сигналов и стрелок по постам и необходимое количество рычагов для управления ими будет следующее:

Количество управляемых объектов	Пост I	Пост II	Количество рычагов для управления	
			Пост I	Пост II
I. Сигналов:				
а) трехкрылых . . . . .	1	1	2	2
б) двухкрылых . . . . .	2	—	4	—
в) однокрылых . . . . .	6	3	6	3
II. Стрелок:				
а) простых . . . . .	15	7	15	7
б) перекрестных . . . . .	1	1	2	2
<b>Всего рычагов . . . . .</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>29</b>	<b>14</b>

Из приведенного перечня видно, что после переустройства а) на посту II добавится всего 2 стрелочных рычага, для распо-

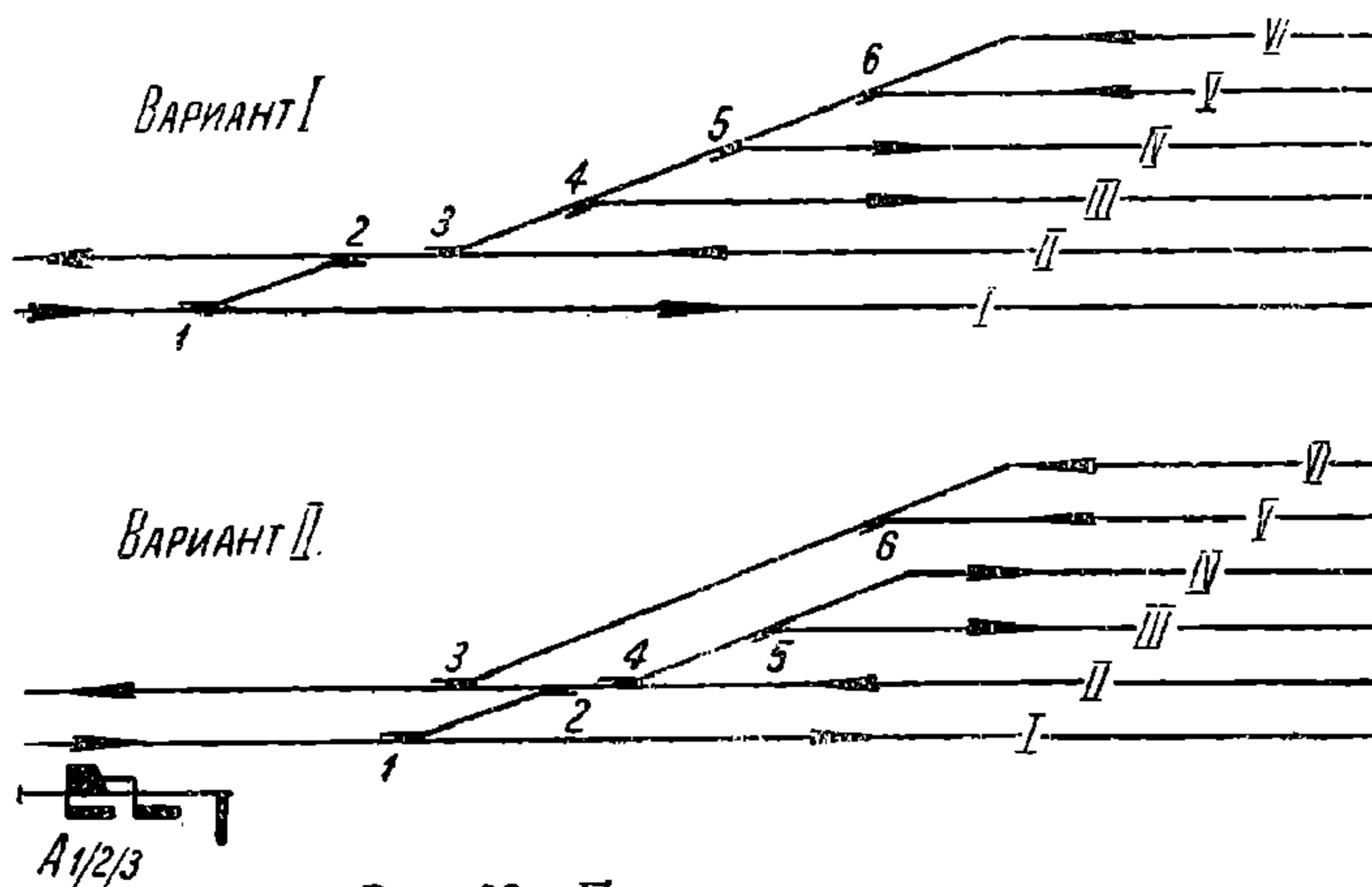


Рис. 29. Планы конца станции.

жения которых из 6 запасных мест станины будет занято два; б) на посту I потребуется 29 мест для рычагов; следовательно, имевшейся 22-местной станины нехватит, придется добавить новую станину на 12 рычагов, учитывая необходимость запасных мест на случай дальнейшего развития.

**Задача 46.** Приведенные на рис. 29 два варианта конца станции имеют одинаковое количество маршрутов и сигналов, но отличаются несколько устройством путей и расположением стрелок. Составьте таблицу зависимости маршрутов для обоих указанных концов

станции, учитывая специализацию путей по направлениям; сравнив таблицы, сделайте вывод о лучшем варианте расположения путей и стрелок.

*Решение.* На рис. 29 нанесены стрелками маршруты приема и отправления; их всего шесть; маршруты обоих вариантов аналогичны. На рис. 30 построены таблицы взаимозависимости маршрутов для обоих вариантов; таблицы симметричны по отношению к диагоналям *ab* и *вг*, что является контролем их правильности. Сравнивая таблицы вариантов между собою, видим, что при втором варианте меньше враждебных маршрутов, при той же степени обеспеченности безопасностью; следовательно, второй вариант расположения путей и стрелок более выгоден; в практике при наличии расположения путей, аналогичного варианту первому, возможно

№ маршрутов	Наименование маршрутов	Вариант 1.						Вариант 2.					
		Зависимость маршрутов.						Зависимость маршрутов.					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	Прием на п. I	•	×	×			в	•	×	×			
2	— " — " — " III	×	•	×	×	×	×	×	•	×	×	×	×
3	— " — " — " IV	×	×	•	×	×	×	×	×	•	×	×	×
4	Отправление с п. II		×	×	•	×	×		×	×	•	×	×
5	— " — " — " V		×	×	×	•	×		×	×	×	•	×
6	— " — " — " VI		×	×	×	×	•		×	×	×	×	•

Рис. 30. Таблица взаимозависимости маршрутов.

перекладкой стрелок по варианту второму облегчить условия работы станции (развязать узкое место), что и рекомендуется осуществлять перед устройством централизации.

**Задача 47.** Дан план двухпутной станции, расположенной на участке, оборудованном автоблокировкой (рис. 31); в виду густого движения станцию намечено оборудовать электрической централизацией со специализацией путей, для чего: а) наметьте маршруты приема, отправления и сквозные; б) оборудуйте приемно-отправочные пути светофорами, дав им обозначения и г) составьте таблицу взаимозамыкания.

*Решение.* Все стрелки станции централизуются. Маршрутов намечено 10 (указаны стрелками на путях рис. 31): два приема нечетных поездов от Ю и два отправления четных поездов на Ю; два приема четных поездов от С, два отправления нечетных поездов на С и два сквозных. Маршруты сигнализируются (рис. 31): а) 4-значными входными светофорами: *Н*—для нечетного направления и *Ч*—для четного: б) 3-значными выходными светофорами *Н<sub>1</sub><sup>1)</sup>* и *Н<sub>3</sub>* для нечетного направления и *Ч<sub>2</sub>—Ч<sub>4</sub>* для четного направления.

Станционные пути разбиты на:

- а) 4 путевых изолированных рельсовых цепи 1П, 2П, 3П и 4П и
- б) 4 стрелочных рельсовых цепи 1СП, 2СП, 3СП и 4СП.

<sup>1)</sup> На рис. 31—ошибочно показано *Н<sub>2</sub>* вместо *Н<sub>1</sub>*.

Таблица взаимозависимости маршрутов составлена с допущением одновременности попутных маршрутов с соседних путей (например прием на I и отправление с III), что допустимо по условиям под-



№ по пор.	Наименование маршрутов	По сигналу	Зависимость маршрутов										Сигналы						Стрелки							
			Зависимость маршрутов										Сигналы						Стрелки							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	H	H1	H3	Ч	Ч2	Ч4	1/2	3	4	5	6	7	8	
1	Сквозной пропуск по п. I...	H, H1	•	×	×					×	×	○3	○3				+				+			+		
2	Прием нечетных на п. I...	H	×	•	×					×	×	○ж												+		
3	----- III	H	×	×	•					×	×	○2ж												-		
4	Отправление четн с п II	Ч2			•	×	×	×							○								+	+		
5	----- IV	Ч4				•	×	×	×							○							-	-		
6	Сквозной пропуск по п. II	Ч, Ч2				•	×	×	×						○3	○3	+	+	+		+	+				
7	Прием четных на п. II	Ч				•	×	×	×	•					○ж		+	+	+							
8	----- IV	Ч				•	×	×	×	•					○2ж		+	-	-							
9	Отправление неч с п I	H1	×	×						•				○3			+				+					
10	----- III	H3	×	×						•				○3			+				-					

Рис. 31. План двухпутной станции.

хода (менее 1/2 руководящего уклона) и наличия тормозных осей (не менее 14). Стрелки попутного съезда 1/2—спарены, остальных съездов—раздельны, в виду противошерстности поездам.

**Варианты заданий к условию задачи 47.**

- Вариант 1. План станции (рис. 32).
- Вариант 2. План станции (рис. 33).
- Вариант 3. План станции (рис. 34).
- Вариант 4. План станции (рис. 35).
- Вариант 5. План станции (рис. 36).

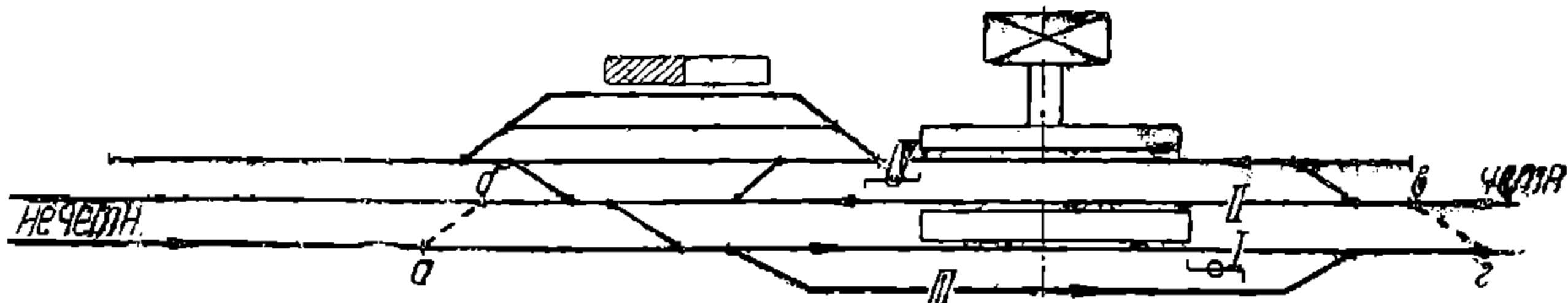


Рис. 32. План станции (вариант 1-й).

**Задача 48.** Оканчивающиеся тупиками пути III и IV, по которым паровозы подаются и уходят из-под поездов приемно-отправочного парка пересекают главные пути I и II (рис. 37); требуется:

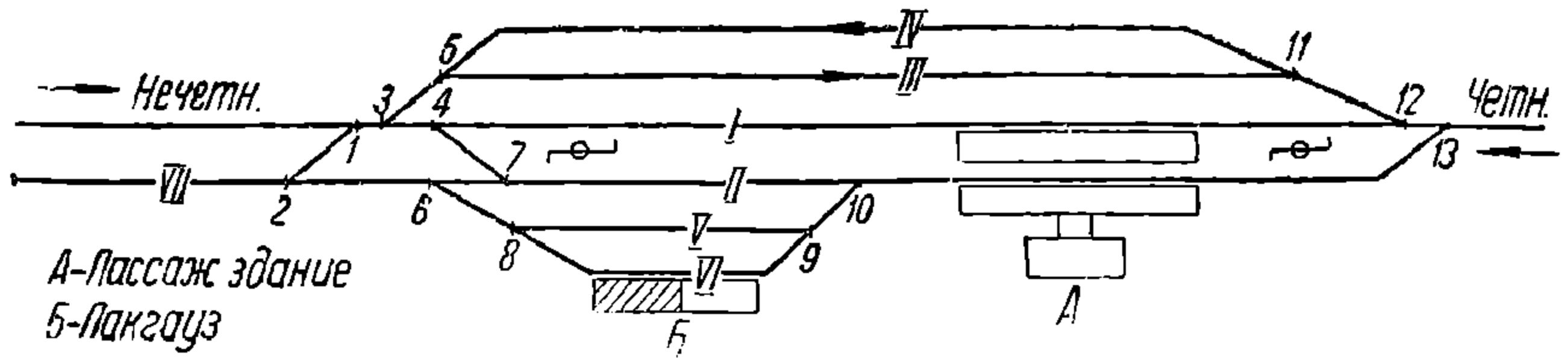


Рис. 33. План станции (вариант 2-й).

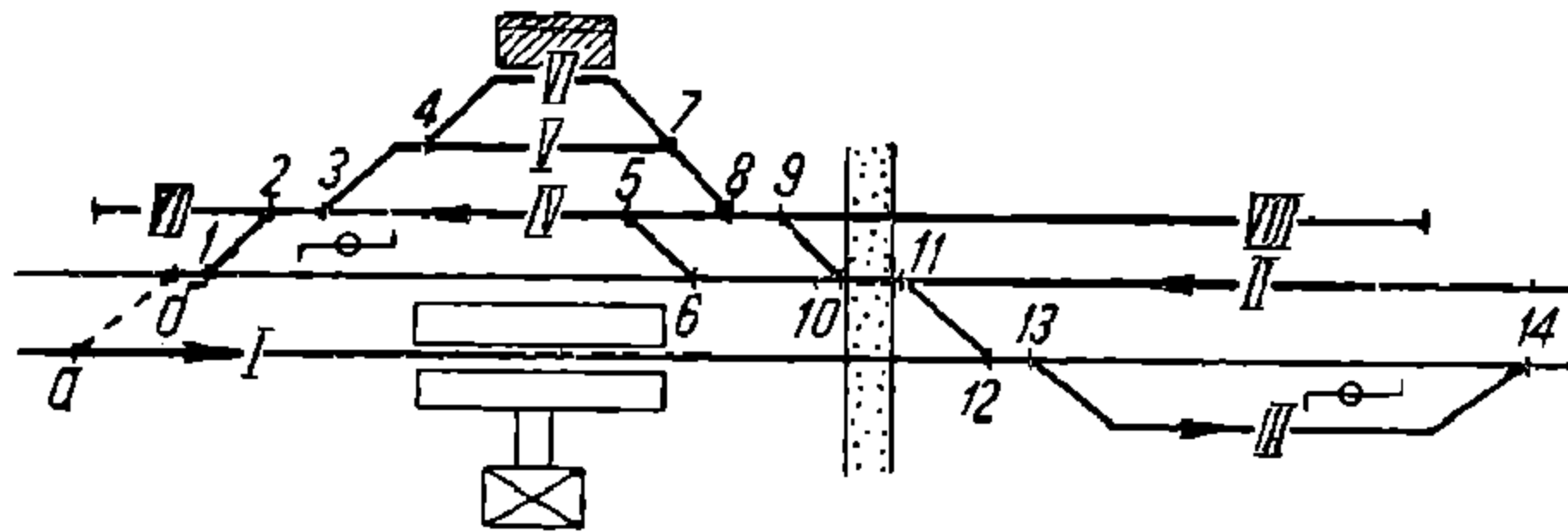


Рис. 34. План станции (вариант 3-й).

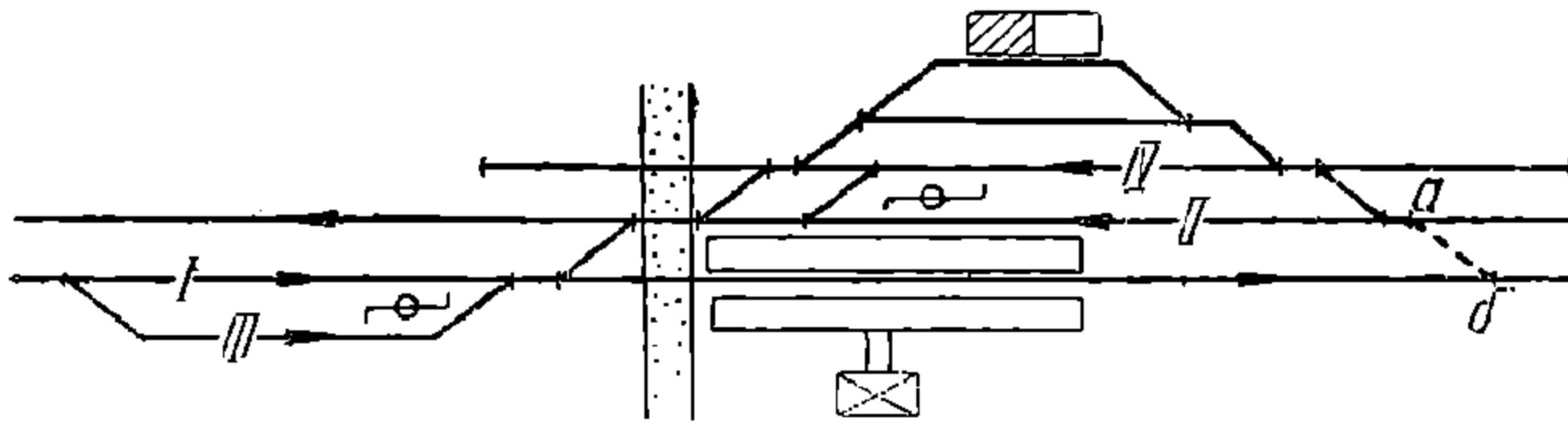


Рис. 35. План станции (вариант 4-й).

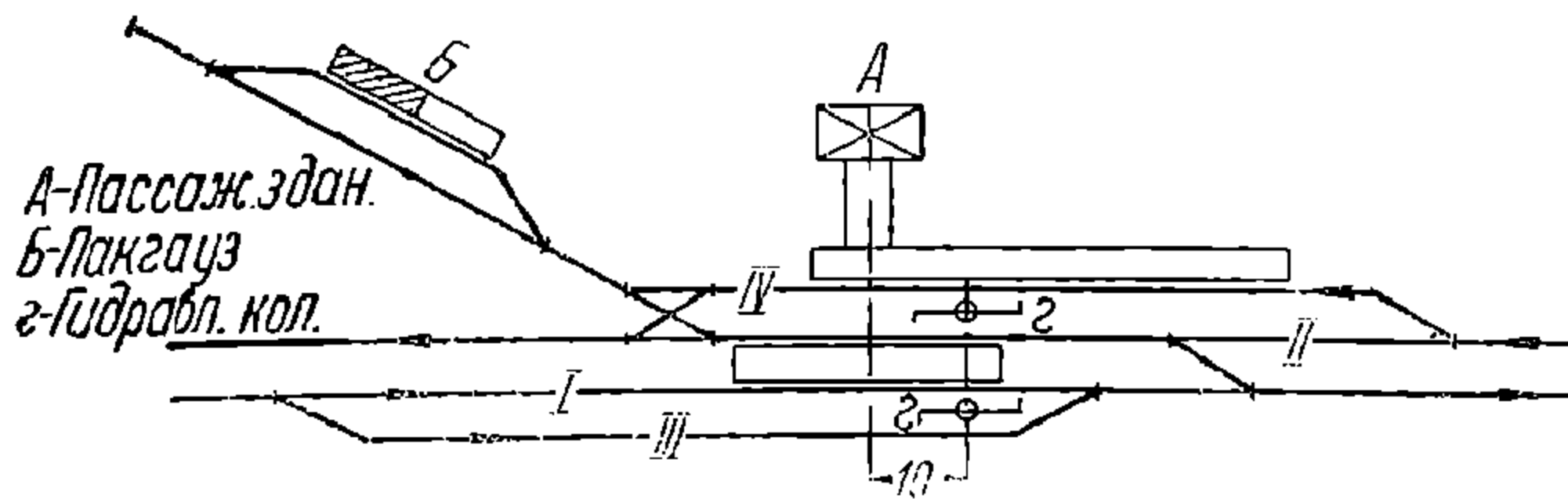


Рис. 36. План станции (вариант 5-й).

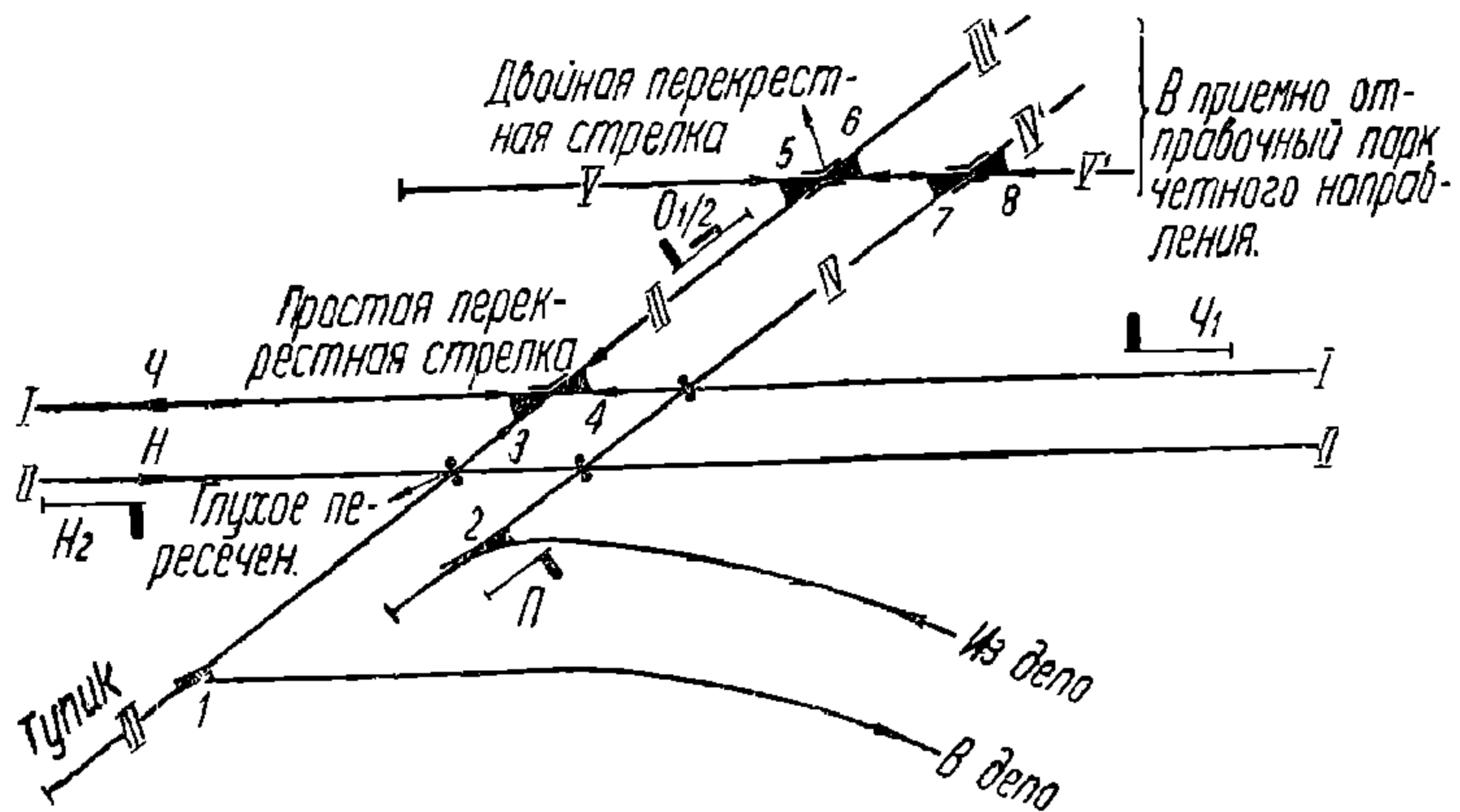


Рис. 37. План пересечения.

а) оградить сигналами пересечение; б) составить перечень маршрутов для движения поездов по главным путям и паровозов по путям III и IV с пересечением главных путей, предусмотрев также возможность выхода с III пути на I путь, и в) составить таблицу

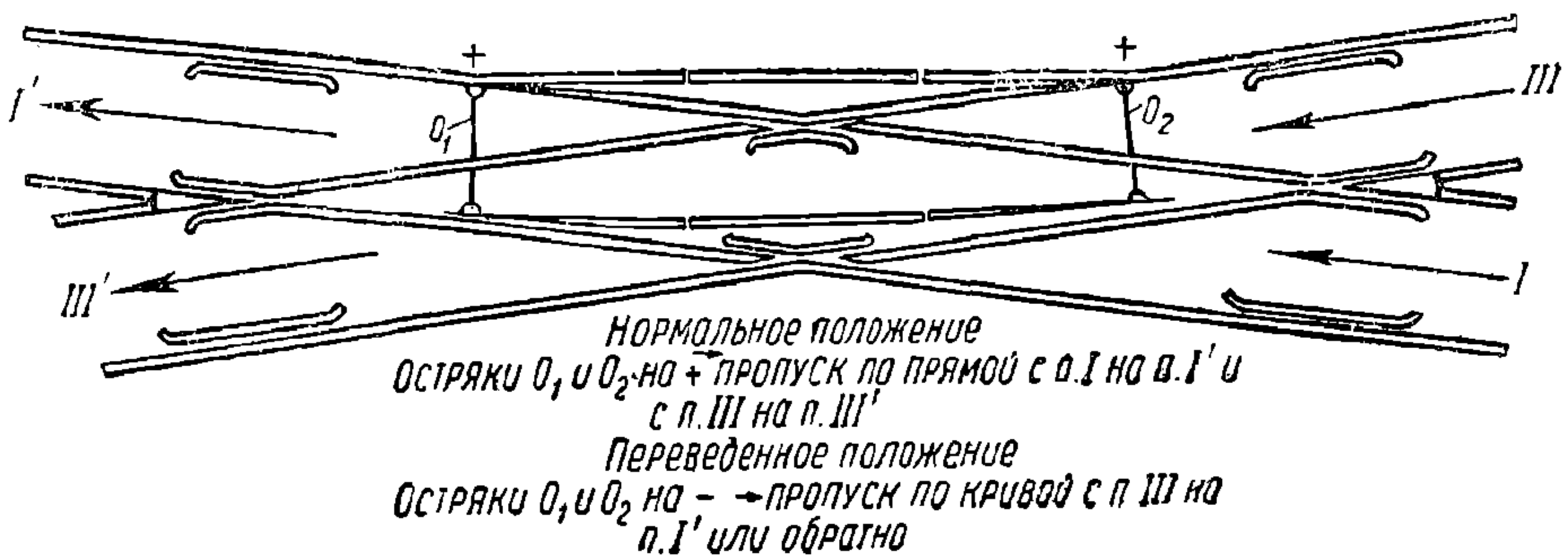


Рис. 38. Нормальное положение простой перекрестной стрелки.

взаимозамыкания маршрутов и стрелок. Стрелка  $\frac{3}{4}$  — простая перекрестная, а  $\frac{5}{6}$  и  $\frac{7}{8}$  — двойные перекрестные.

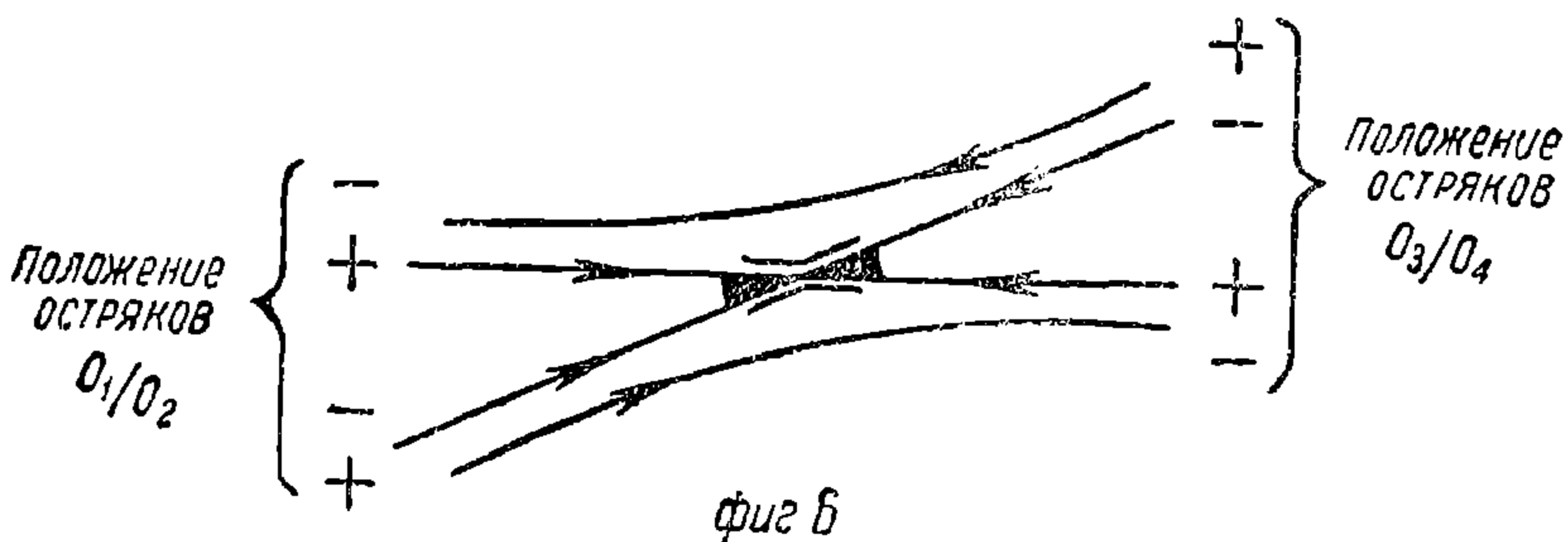
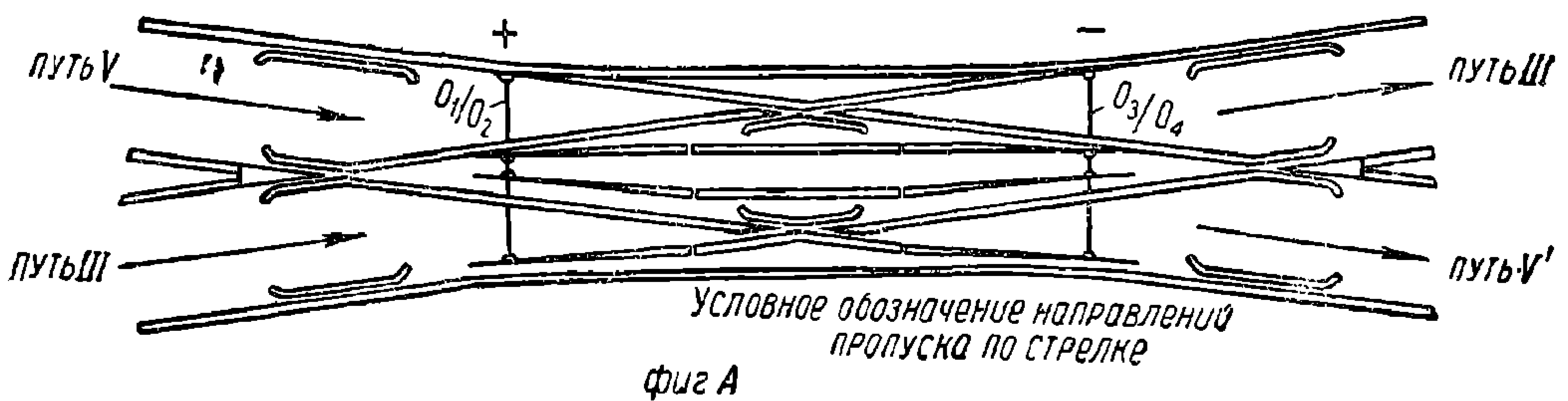


Рис. 39. Нормальное положение двойной перекрестной стрелки.

**Решение.** Для ограждения устанавливаем сигналы: а)  $Ч_1$  и  $Н_2$  по главным путям и б)  $П$  и  $О^{1/2}$  — по путям прохода паровозов; при этом в виду необходимости выхода с III пути как в тупик, так и на I путь — семафор  $О$  берется двухкрылым.

Прежде чем приступить к составлению таблицы взаимозамыкания, условимся, какие положения перекрестных стрелок считать нормальными; для простой перекрестной стрелки  $\frac{3}{4}$  принимаем



нормальным положение пропуска по прямой по обоим пересекающимся путям (рис. 38); для двойных перекрестных стрелок  $5/6$  и  $7/8$  за нормальное положение примем пропуск по прямой по одному из пересекающихся путей (рис. 39), а именно: с пути V на путь V' или обратно, считая, что указанные стрелки в таком положении должны находиться при преобладающем по ним маневровом движении. В зависимости от перевода на минус острияков того или другого конца стрелки или обоих концов получается пропуск по стрелке так, как это указано на фиг. Б рис. 39. Каждый конец перекрестных стрелок переводится отдельным рычагом.

№ по пор.	Наименование маршрутов	По сигналу	Зависимость маршрутов					Стрелки					
			1	2	3	4	5	1	2	3-4	5-6	7-8	
1	Пропуск по I главному п.	Ч <sub>1</sub>	●		×	×	×	+	+	+		+	+
2	... II ...	Н <sub>2</sub>		●		×	×	+	+			+	+
3	... с III' п. на I п.	О <sub>1</sub>	×		●	×		+		-	-	-	-
4	... III' п. в тупик III	О <sub>2</sub>	×	×	×	●		-		+	+	-	-
5	... с тупика IV на IV'	П	×	×			●		-		-	-	-

Рис. 40. Таблица зависимости.

По условиям задачи на пересечении получается пять маршрутов: 2—по главным путям, 2—по путям пропуска паровозов и 1—с пути III на I путь. Очевидно, что маршруты по главным путям враждебны маршрутам по путям пропуска паровозов; это показано

№ маршрута	Наименование маршрутов	По сигналу	Зависим. маршрут.			Стрелки					Сигнал	
			1	2	3	1	2	4	5	Б	А	
1	Прием на п. I	A <sub>1</sub>	●	×	×	+	+			К	×	×
2	" " " п. III	A <sub>2</sub>	×	●	×	-	-	-	-	×	К	×
3	" " " п. IV	A <sub>3</sub>	×	×	●	-	-	-	+	×	К	К

Рис. 41. Таблица зависимости

для обеспечения направления движения при заданном маршруте, при чем стрелки 1, 2,  $5/6$  и  $7/8$  используются в качестве охранных при установке маршрутов по главным путям.

**Задача 49.** Построить схему ящика зависимости сист. С. и Г. исполнительного поста для маршрутов приема по сигналу A  $1/2/3$  конца станции (вариант 2), указанного на рис. 29.

**Решение.** Таблица зависимости маршрутов, стрелок и сигналов для приема поездов на пути I, III и IV получает вид, показанный на рис. 41; в этой таблице маршруты между собою враждебны, стрелки поставлены по ходу принимаемых поездов; охранных стрелок

лок не имеется. Для схемы ящика зависимости прежде всего условно изображаем (рис. 42): а) 2 спаренных сигнальных рычага для управления сигналами  $A_1$  и  $A^{2/3}$  с соответственными осями  $C_1$  и  $C_2$ ; б) 3 маршрутных рукоятки  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$  с осями; в) 4 стрелочных рычага, при чем стрелки, запирающиеся в маршрутах на + и на— (№ 1, 2 и 5), имеют по две стрелочных оси (плюсовую и минусовую), а запирающиеся только в одном положении имеют одну ось (минусовую—стрелка № 4 см. надпись вверху рисунка). На сигнальных и стрелочных осях располагаются замычки с запирающими стержнями (7/18л, 7/18п и др.). Для запираения стрелок и сигналов в маршрутах в ящике зависимости устанавливаются три продольных линейки 1, 2 и 3, связываемые с соответствующими замычками. Запираение стрелок в маршрутах осуществляется посредством замычек 19ж, устанавливаемых на соответствующих стрелочных осях—у каждой из линеек, соответственно маршруту, в точности по таблице замыкания стрелок (рис. 41). Например в маршруте 1—стрелки 1 и 2 должны стоять на +, а потому у маршрутной линейки 1 на плюсовых стрелочных осях стрелок 1 и 2 поставлены замычки 19ж. Запираение сигналов осуществляется замычками 19ф, при чем отпирание рычага  $A_1$  происходит при повороте маршрутной рукоятки  $M_1$ ; а рычага  $A^{2/3}$  при повороте рукоятки  $M_2$  или  $M_3$ . Открытие третьего крыла при маршруте  $M_3$  происходит в связи со вторым крылом благодаря тому, что при повороте рукоятки  $M_3$  замыкается контакт  $K$ , включая сцепляющий механизм (автомат  $A_8$ ) третьего крыла семафора. Взаимоисключение маршрутов достигается применением замычек 14, а также 17р, установленных у линейки 4.

Задача 50. Для таблицы взаимозамыкания рис. 30 (вариант 2) составить схему ящика зависимости сист. С. и Г. для распорядительного поста при наличии станционной блокировки (с маршрутными и сигнальными блоками).

Решение. Ведущими и взаимозамыкающими замычками для распорядительных аппаратов являются замычки 30 и 31 (рис. 43); род замыканий последней замычки зависит от наличия тех или иных штифтов на соответствующей линейке. Заданное взаимозамыкание маршрутов 1, 2, 3 и 4 на рис. 44 выполнено посредством линейки 1 и замычек 30 и 31 со штифтами 6,7,9,0, а маршрутов 4, 5 и 6 по-

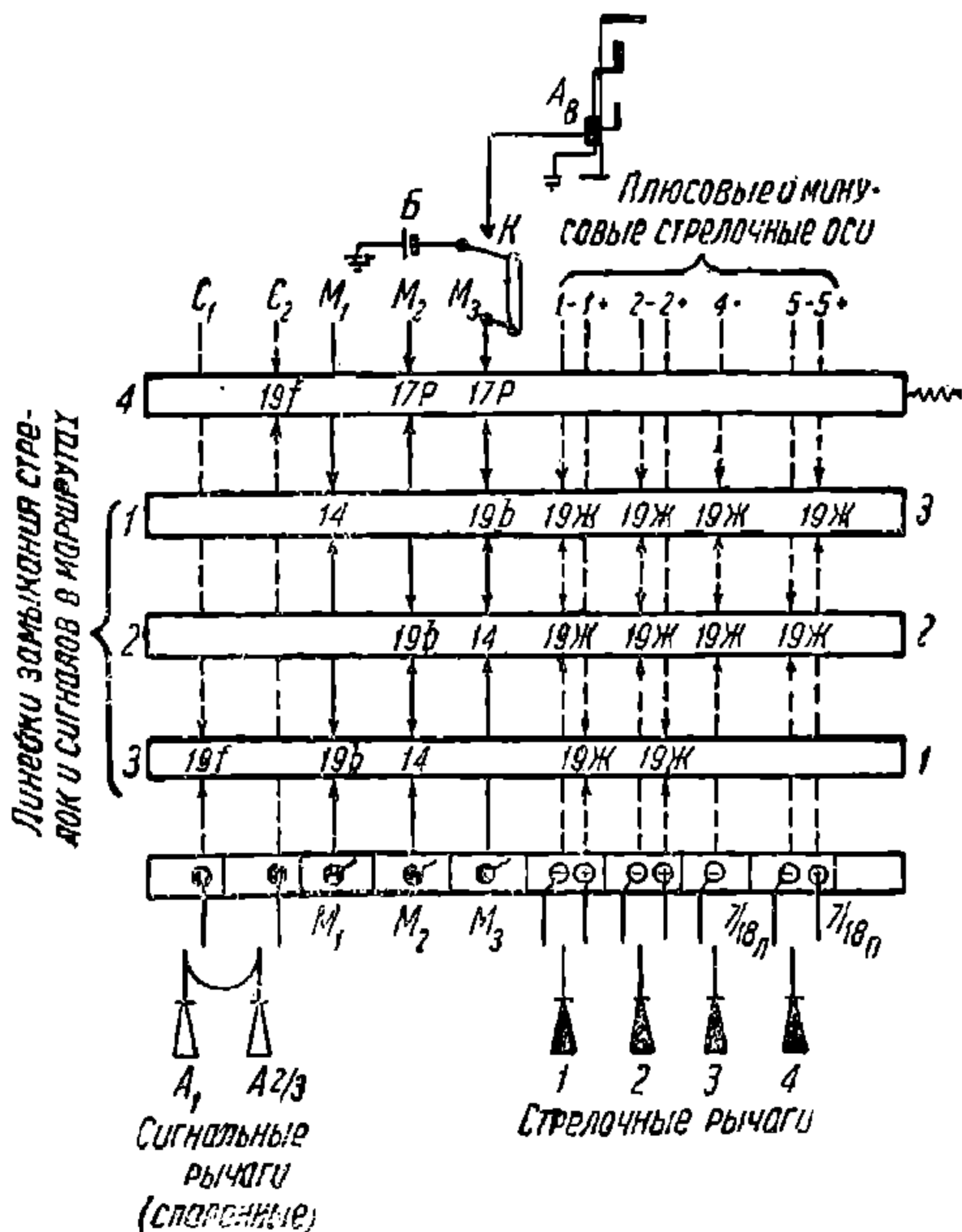


Рис. 42. Схема ящика зависимости.

средством линейки II с аналогичными замыканиями. Для замыкания группы маршрутных рукояток (приема или отправления) от общего

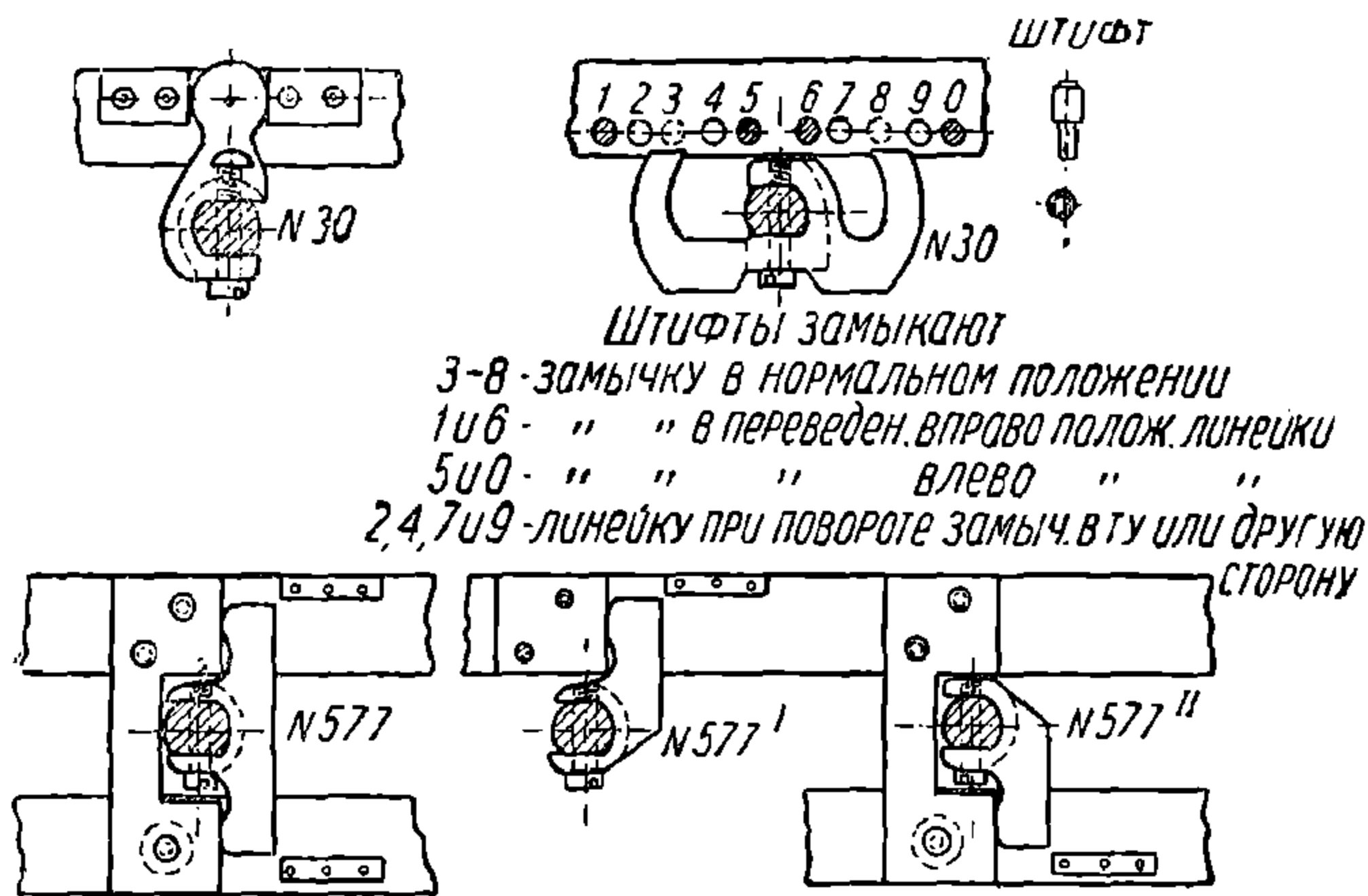


Рис. 43. Замычки 30 и 31.

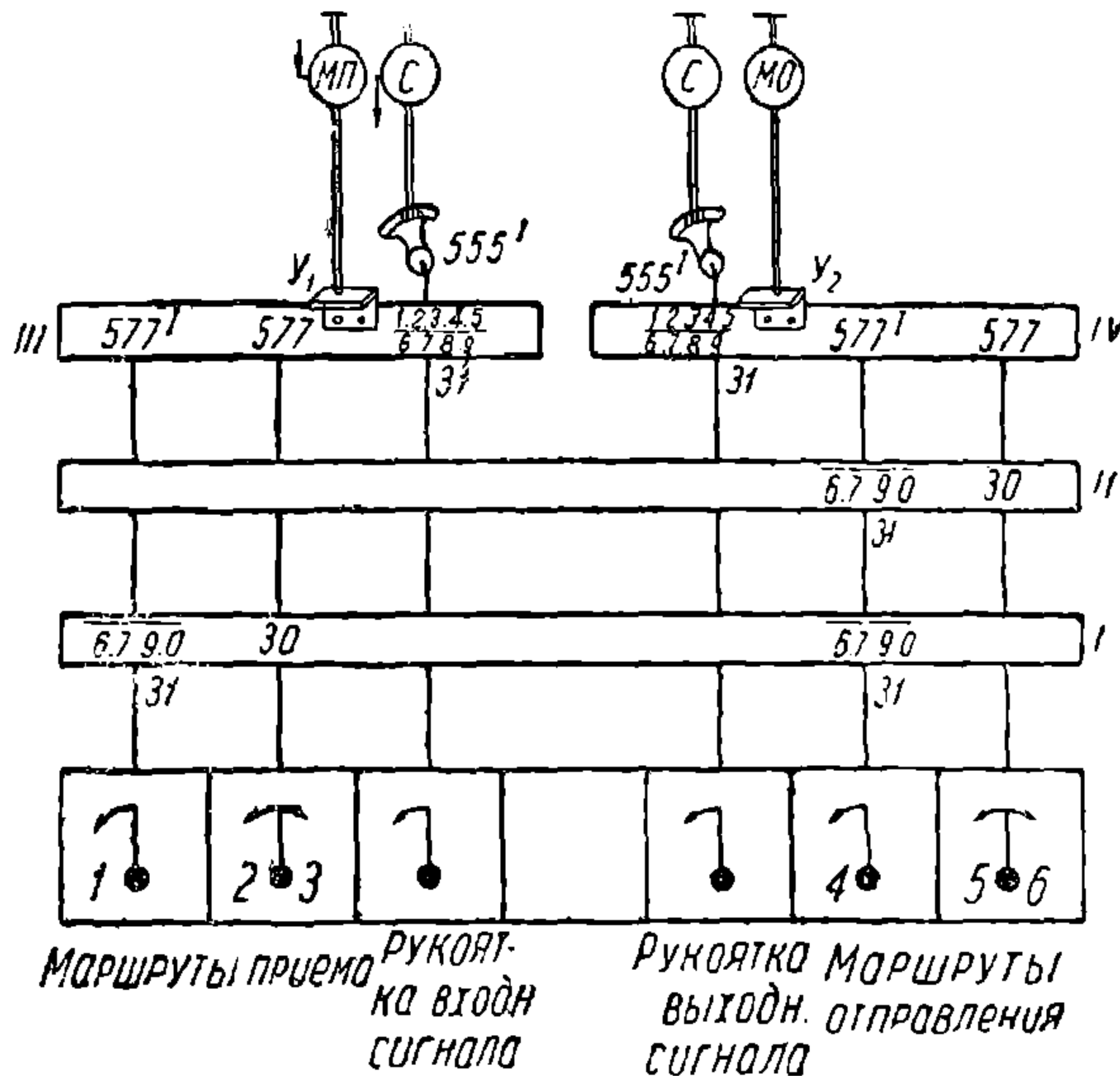
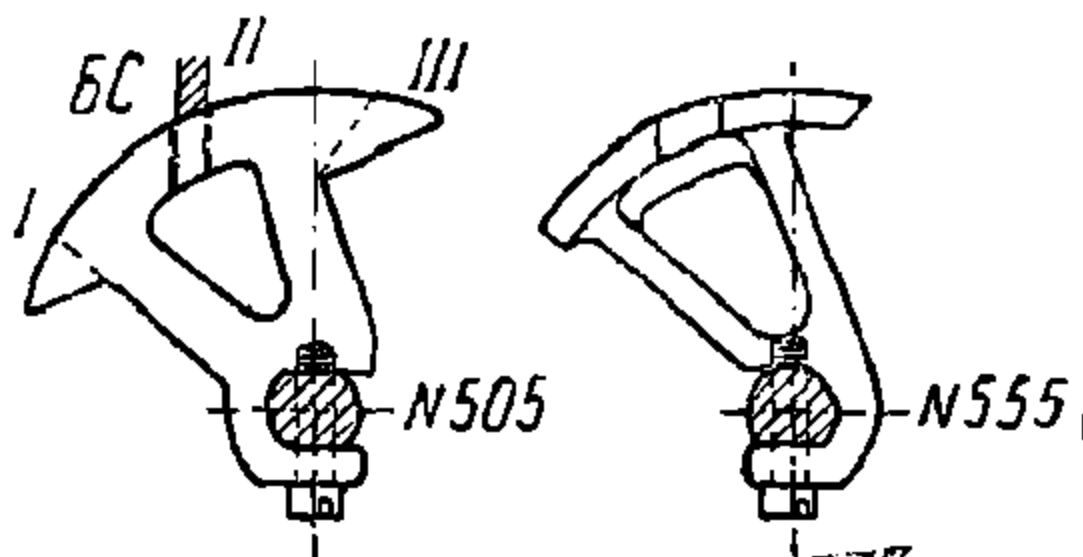


Рис. 44. Схема ящика зависимости.

маршрутного блок-механизма (МП или МО) использованы линейки III и IV с угольниками ( $Y_1$  или  $Y_2$ ) под ригельным стержнем блок-механизмов; линейки связаны с маршрутными рукоятками посредством замычек 577, 577' и 577'' (рис. 43 и 44),

Связь сигнальных рукояток и блок-механизмов с маршрутными рукоятками осуществлена посредством тех же линеек III и IV и замычек на оси сигнальной рукоятки: а) 31 со штифтами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и б) 555<sup>1</sup>, расположенной под ригельным стержнем сигнального блок-механизма (рисунки 43 и 44).

**Задача 51.** По таблице взаимозамыкания (рис. 31), составленной при решении задачи 47, составьте схему ящика зависимости для электрической централизации (аппарат завода им. Казицкого).

**Решение.** Построение схемы ящика зависимости для аппарата электрической централизации легко осуществить, пользуясь табличками (рис. 45 А) для подбора замычек (рис. 45 Б), запирающих маршрутно-сигнальные и стрелочные оси при движении линейки устанавливаемого маршрута в ту или другую сторону.

При движении линейки по стрелке	Запирают м.с. ось от вращения	Установкой над ней замычек	При движении линейки по стр.	Запирают стрелочную ось замычками	
				ось на +	ось на -
→	⊙	10 - -	→	3	5-
→	⊙	- 16 -	→	5+	4
→	⊙	10 16 -			
←	⊙	- 15 -			
←	⊙	- "			
←	⊙	15 11			
→ ←	⊙	10 15 -			
← →	⊙	- 16 11			
← →	⊙	10 16 11			

При совпадении мест установки замычек 10 и 11 с замычкой 8, последняя не ставится, а вместо замычек 10 и 11 ставятся 12 и 13

Рис. 45А. Табличка для подбора замычек.

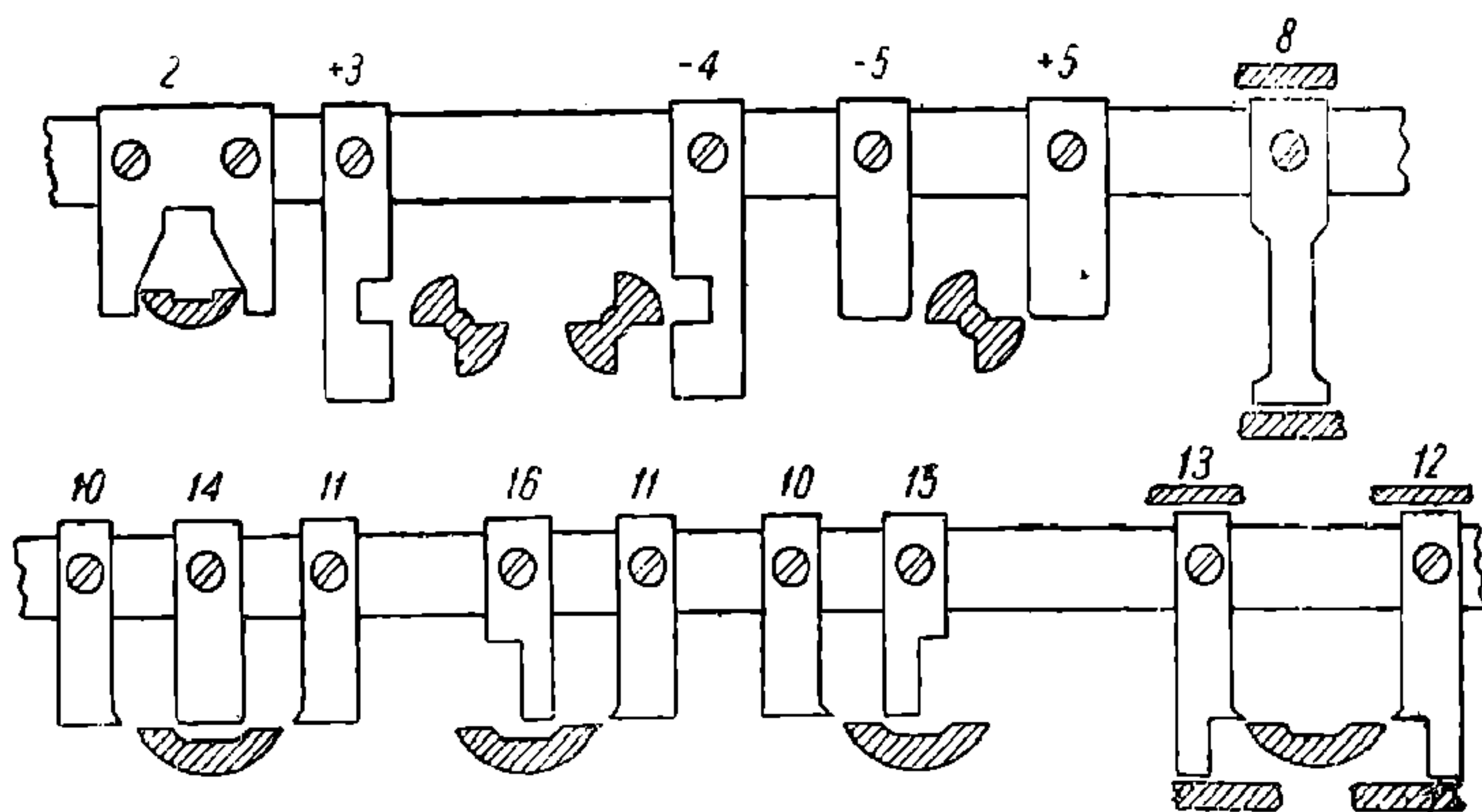
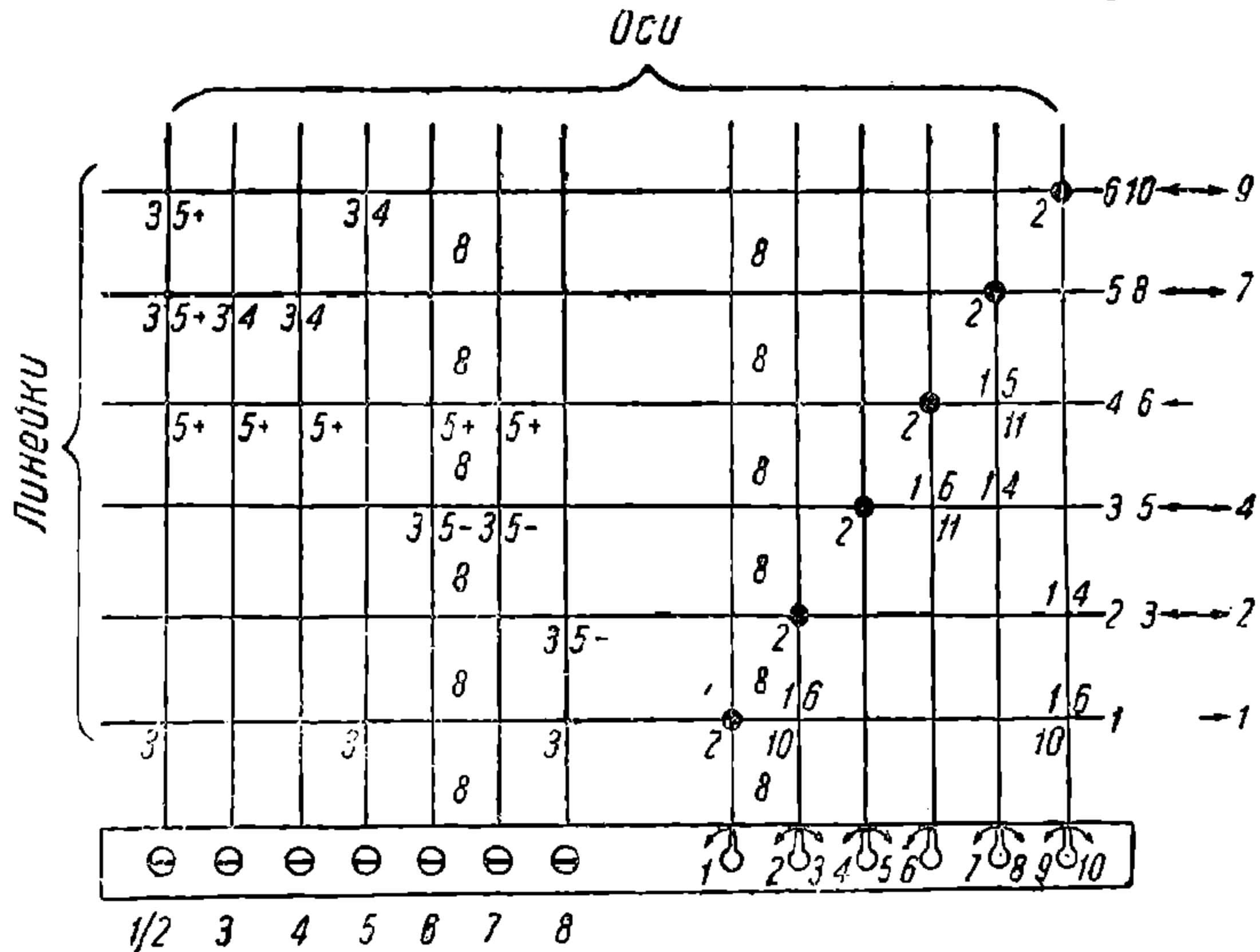


Рис. 45Б. Типы замычек.

По табличке рис. 45А видно, например, что: а) для замыкания маршрутно-сигнальной оси от поворота по часовой стрелке при движении линейки устанавливаемого маршрута вправо надо поставить замычку 10; б) для запираения стрелочной оси на минус при том же движении линейки надо поставить замычку 5—и т. д.

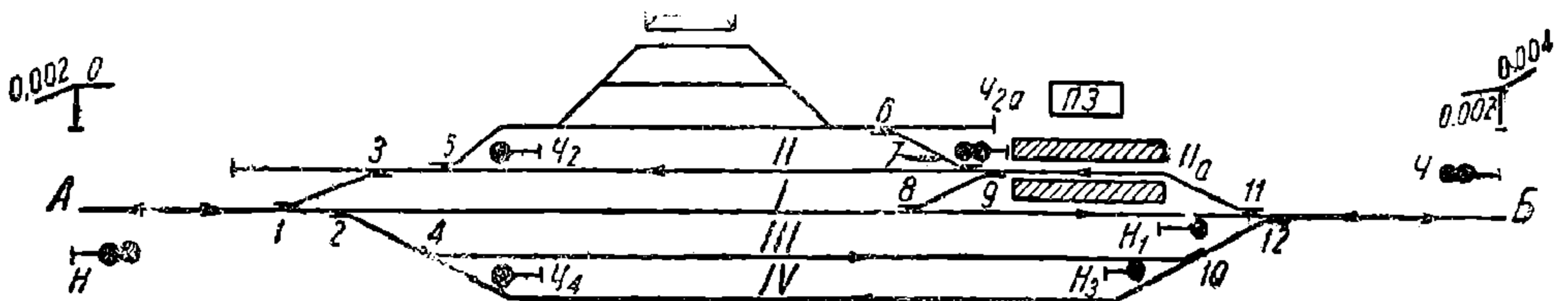
Пользуясь указанными табличками, легко составляем требуемую схему ящика зависимости (рис. 46), для чего проводим оси (вертикальные линии) по числу стрелочных и маршрутно-сигнальных рукояток; при этом враждебные маршруты спариваем по два на одну рукоятку. Перпендикулярно к линиям осей проводим линии линеек по числу маршрутно-сигнальных рукояток. На получившейся ре-



шетке расставляем ведущие замычки 2 маршрутно-сигнальных рукояток и затем, пользуясь табличками рис. 45, расставляем у маршрутных линеек замычки, запирающие стрелочные и маршрутно-сигнальные оси в точности по таблице взаимозамыкания.

### Вариант заданий к условию задачи 51

Построить схемы ящика зависимости для электрической централизации по таблицам взаимозамыкания, построенным по условиям задачи 47, для планов станций, указанных на рис. 32, 33, 34, 35, 36.



**Задача 52.** Станция, указанная на рис. 47, расположена на участке, оборудованном однопутной автоблокировкой, с профилем подходов, приведенных на том же рисунке. Пути станции специали-

зированы. Для увеличения пропускной способности станции намечено оборудовать ее электрической централизацией по схеме (с централизаторами), разработанной Транссигналстроем<sup>1</sup>). Требуется: наметить маршруты и централизуемые стрелки на данной станции, сделать расстановку сигналов, дав им наименование, и определить, какое количество централизаторов потребуется установить на станции для управления стрелками и сигналами.

**Решение.** Намечаем маршруты, помечая их стрелками на путях; одновременно намечаем сигналы, давая им наименование по системе Транссигналстроя; таким образом при специализации путей получаем: а) маршруты приема со стороны А на путь I и III по входному светофору Н; б) маршруты приема со стороны Б на путь IIIa пассажирских поездов по сигналу Ч и на путь II товарных поездов по сигналу Ч и Ч<sub>2a</sub> и прием на путь IV по сигналу Ч; в) маршруты отправления в сторону Б с путей I и III по сигналам Н<sub>1</sub> и Н<sub>3</sub>, а также с путей IIIa, II и IV в сторону А по сигналам Ч<sub>2a</sub>, Н<sub>2</sub> и Ч<sub>4</sub>. Сквозные маршруты выполняются двумя рукоятками—приема и отправления.

В централизацию включаются все стрелки на путях, используемых для организованного движения; на пакгаузных путях централизуется только стрелка б, остальные остаются на ручном обслуживании. Всего централизуются 12 стрелок. Учитывая характер профиля подходов к станции и наличие тупика на пути II, на данной станции возможна установка одновременно попутных маршрутов; в связи с указанным для управления сигналами потребуется по отдельному централизатору на каждый приемно-отправочный путь; в нашем случае потребуется 5 маршрутно-сигнальных централизаторов. Общее число потребных централизаторов для стрелок составит 9, так как из общего числа 12 стрелок имеется три съезда (<sup>1</sup>/<sub>3</sub>, <sup>6</sup>/<sub>7</sub> и <sup>8</sup>/<sub>9</sub>), стрелки которых спариваются. Таким образом для всей установки потребуется 14 централизаторов; указанное число близко к практическому пределу максимального числа централизаторов, устанавливаемых в помещении дежурного по станции (15—16).

#### ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахнин. Централизация стрелок и сигналов (механическая). Изд. Транспечать, 1930, стр. 40—55 и 277—241.
2. Лупал. Электрическая централизация стрелок. Трансжелдориздат, 1934, стр. 99—106.
3. Перов. Сигнализация, централизация и блокировка. Выпуск IV. Госжелдориздат, 1933, стр. 64—126.
4. Научно-исследовательский институт эксплуатации ж. д. Эксплуатационные требования и расчеты для составления проекта автоблокировки. Гострансиздат, 1932, стр. 27—30.

---

<sup>1</sup> См. журнал: „Сигнализация и связь на ж.-д. транспорте“, № 5, 1934 г., стр. 13.

## VII РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ

Основными характеристиками рельсовой цепи являются: удельное полное сопротивление двух рельсовых ниток ( $r$   $\Omega/\text{км}$  при постоянном токе и  $z$   $\Omega/\text{км}$  с фазным углом  $\varphi$ —при переменном токе) и сопротивление или проводимость баласта или утечки ( $r_\delta$   $\Omega/\text{км}$  или  $g$   $\Omega/\text{км}$ ). Емкостью рельсовой цепи обычно пренебрегают. Указанные характеристики для определенного участка могут быть определены либо испытанием опытной рельсовой цепи на данном участке, либо с достаточной для практических целей точностью подсчитаны по известным данным: типу рельсов и рельсовых соединителей, длине их, электрическому сопротивлению их материала и др.

Вторичными характеристиками рельсовой цепи являются: а) волновое сопротивление цепи— $Z_\lambda$  и б) коэф. затухания цепи (на 1 км)— $\gamma$ . Волновое сопротивление  $Z_\lambda$  и коэф. затухания  $\gamma$  связаны с основными характеристиками рельсовой цепи следующими соотношениями:

а) при постоянном токе:

$$Z_\lambda = \sqrt{r \cdot r_\delta} = \sqrt{\frac{r}{g}} \quad (58)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{r}{r_\delta}} = \sqrt{r} \cdot g. \quad (59)$$

б) при переменном токе:

$$Z_\lambda = \sqrt{\frac{z}{g}} = \sqrt{\frac{z \cdot e^{j\varphi}}{g}} = \sqrt{\frac{r_w + jx}{g}} = \sqrt{\frac{r_w + j\omega L}{g}} \quad (60)$$

и

$$\gamma = \sqrt{z \cdot g} = \sqrt{z \cdot e^{j\varphi}} = \sqrt{(r_w + jx) g} = \sqrt{(r_w + j\omega L) g}, \quad (61)$$

где

$r_w$  и  $x$  — активное и индуктивное сопротивление рельсов в  $\Omega/\text{км}$ ;

$$\omega = 2\pi f;$$

$L$  — коэффициент самоиндукции рельсов в  $\text{Н}/\text{км}$

Из уравнений (58—59) вытекают следующие равенства:

$$r = \gamma \cdot Z_\lambda \quad (62)$$



и

$$\left. \begin{aligned} g &= \frac{\gamma}{Z_\lambda} \\ r_\delta &= \frac{Z_\lambda}{\gamma} \end{aligned} \right\} \quad (63)$$

или

Равным образом из уравнений (60—61) получаются равенства:

$$\bar{z} = \bar{Z}_\lambda \cdot \bar{\gamma} \quad (64)$$

и

$$g = \frac{\bar{\gamma}}{Z_\lambda} \quad (65)$$

Векторы или комплексные величины  $z$ ,  $\gamma$ ,  $\bar{Z}_\lambda$  и др. могут быть представлены в разных видах, а именно:

$$\bar{z} = \bar{z} \cdot l^{j\varphi_z} = z \angle \varphi = r_w + jx \quad (66)$$

и

$$\bar{\gamma} = \gamma \cdot l^{j\varphi_\gamma} = \gamma \angle \varphi_\gamma = \beta + ja \quad (67)$$

где  $\varphi$ ,  $\varphi_\gamma$  — фазные углы величин  $\bar{z}$  и  $\bar{\gamma}$ ;  $r_w$  и  $x$ , а также  $\beta$  и  $a$  представляют соответственно действительные и мнимые члены комплексных выражений, символически выражающих  $\bar{z}$  и  $\bar{\gamma}$ .

Сопротивление утечки баласта считается безындукционным, поэтому фазный угол его равен 0.

Из сопоставления уравнений (60) и (66), а также (61) и (67) следует, что:

$$\varphi_z = \frac{1}{2} \varphi \quad \text{и} \quad \varphi_\gamma = \frac{1}{2} \varphi, \quad \text{где } \varphi_z \text{ — фазный угол величины } Z_\lambda.$$

Переход от алгебраического вида комплексного выражения (например  $\gamma = \beta + ja$ ) к тригонометрическому или показательному ( $\bar{\gamma} = \gamma \cdot e^{j\varphi_\gamma}$ ) производится на основании соотношений:

модуль  $\gamma$  равен:

$$\bar{\gamma} = \sqrt{\beta^2 + a^2} \quad (68)$$

и

$$\operatorname{tg} \varphi_\gamma = \frac{a}{\beta} \quad (69)$$

или аргумент  $\bar{\gamma}$  будет:

$$\varphi_\gamma = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{a}{\beta} \quad (70)$$

Из этих же соотношений вытекает, что:

$$\beta = \gamma \cdot \cos \varphi_\gamma \quad (71)$$

и

$$a = \gamma \cdot \sin \varphi_\gamma : \quad (72)$$

При определении основных характеристик рельсовой цепи посредством испытаний пользуются преимущественно методом холостого хода и короткого замыкания, при которых на питающем конце рельсовой цепи снимаются показания напряжений и тока ( $V_x, I_x, V_k$  и  $I_k$ ), а при переменном токе определяются еще и фазные углы ( $\varphi_x$  и  $\varphi_k$ ). При постоянном токе по измеренным  $V_x, V_k, I_x$  и  $I_k$  определяют:

$$R_x = \frac{V_x}{I_x} \text{ и } R_k = \frac{V_k}{I_k}$$

Затем по  $R_x$  и  $R_k$  находим:

$$Z_\lambda = \sqrt{R_x \cdot R_k} \quad (73)$$

и

$$\text{и } \gamma l = \text{ar tg } h \sqrt{\frac{R_k}{R_x}}$$

или

$$1,15 \lg \frac{\sqrt{\frac{R_x}{R_k} + 1}}{\sqrt{\frac{R_x}{R_k} - 1}}, \quad (74)$$

где  $l$  — длина рельсовой цепи.

Зная  $Z_\lambda$  и  $\gamma$ , по формулам (62) и (63) находят  $r$  и  $g$ .

При переменном токе также по данным измерений находят:

$$Z_x = \frac{V_x}{I_x} \text{ и } Z_k = \frac{V_k}{I_k}$$

и кроме того определяют фазные углы  $\varphi_x$  и  $\varphi_k$ , по которым находят фазный угол рельсов  $\varphi$ :

$$\varphi = \varphi_x + \varphi_k. \quad (75)$$

По фазному углу рельсов  $\varphi$ , пользуясь кривыми  $z = f(\varphi)$  [кривая строится по формуле  $z = \frac{x}{\sin \varphi}$ , полагая  $x = \omega L = \text{const}$ ], построенными на основании экспериментальных и расчетных данных Научно-исследовательского института сигнализации и связи НКПС (рис. 48, 49 и 50), определяют  $z$  рельсовых ниток. Найдя величину  $z$  рельсов, по формуле:

$$r_\delta = \frac{Z_x \cdot Z_k}{z} \quad (76)$$

определяют  $r_\delta$ .

Подсчет омического сопротивления  $r$   $\Omega/\text{км}$  пары рельсовых ниток в зависимости от типа рельсов, длины их звеньев, вида и длины

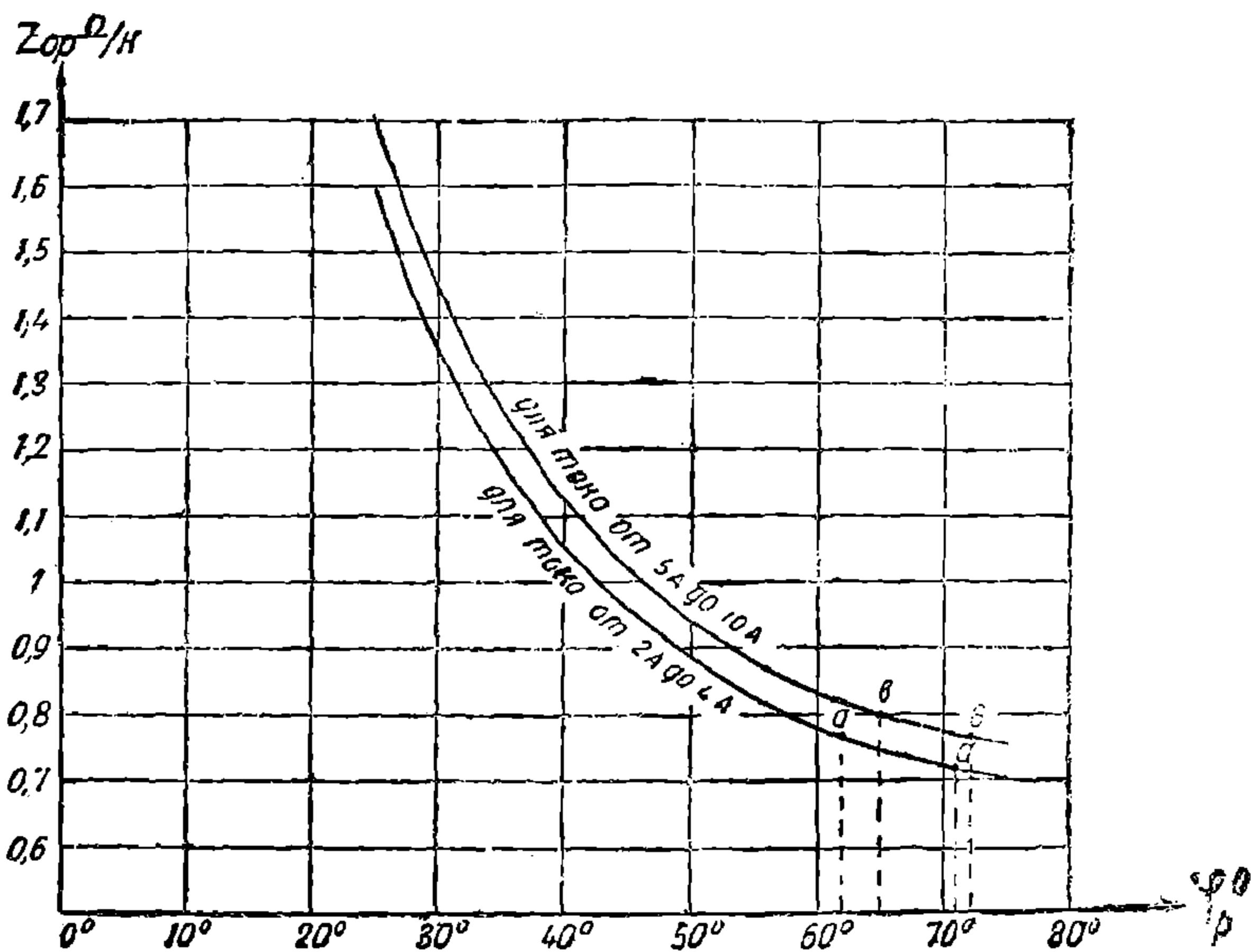


Рис. 48. Кривая  $z = f(\varphi)$ . Для рельсов I—IIa с медными приварными соединителями.

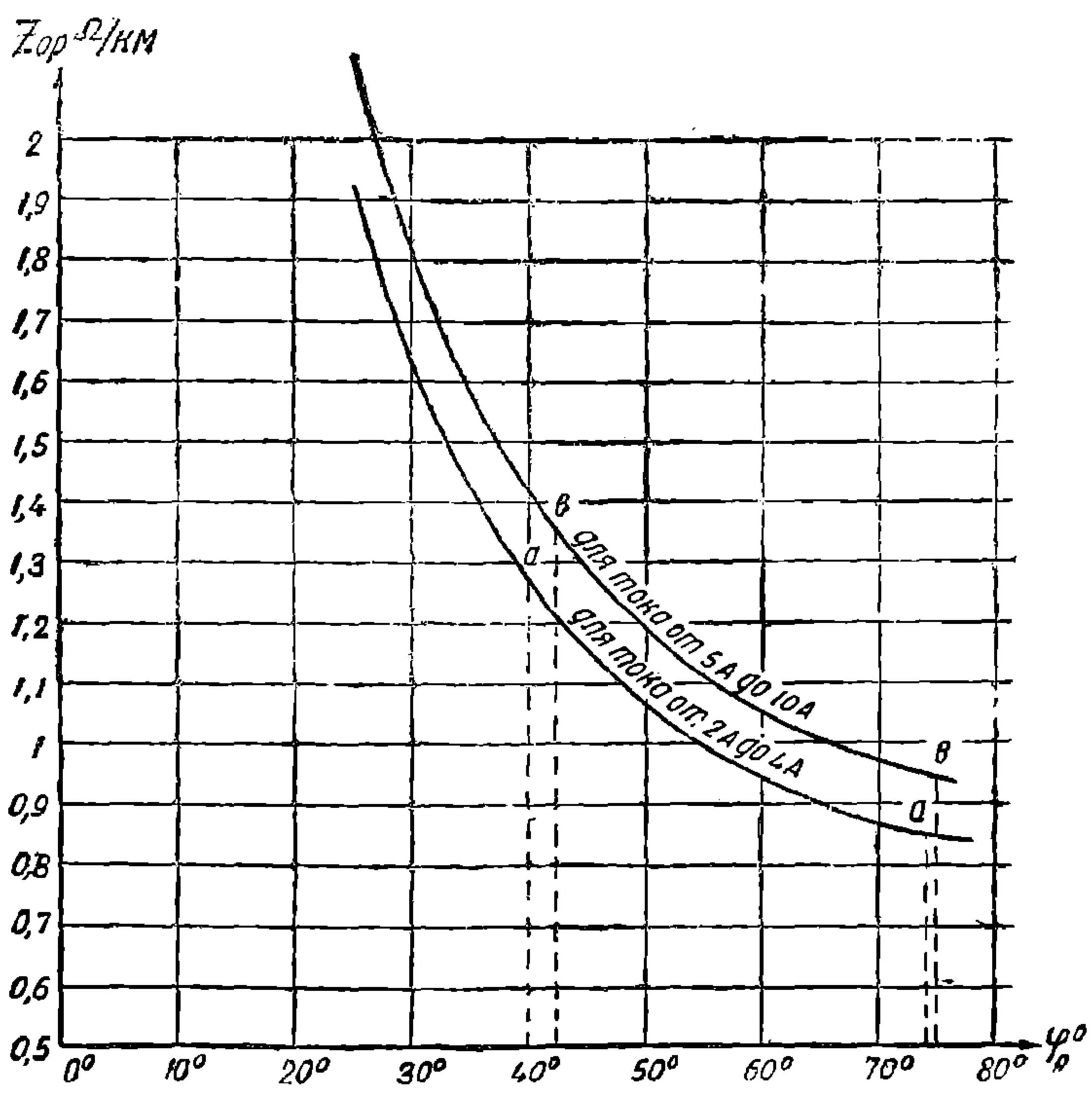


Рис. 49. Кривая  $z = f(\varphi)$ . Для рельсов IIIa с железными шпелсельными соединителями  $d = 5$  мм.

ИТЬ  
83  
ДНУЖТ

рельсовых соединителей может определяться приближенно по следующей формуле:

$$r = 2 \left[ n \cdot s + r_1 \cdot \frac{(1000 - nl_1)}{1000} \right] \quad (77)$$

где  $n$  — число стыков на 1 км пути, равное  $\left( \frac{1000}{l_0} - 1 \right)$ ,

где:

- $l_0$  — длина рельсового звена;
- $s$  — полное сопротивление рельсового соединителя;
- $r_1$  — сопротивление 1 км нитки из цельного рельса;
- $l_1$  — длина в м между дырами, в которых закрепляются соединители.

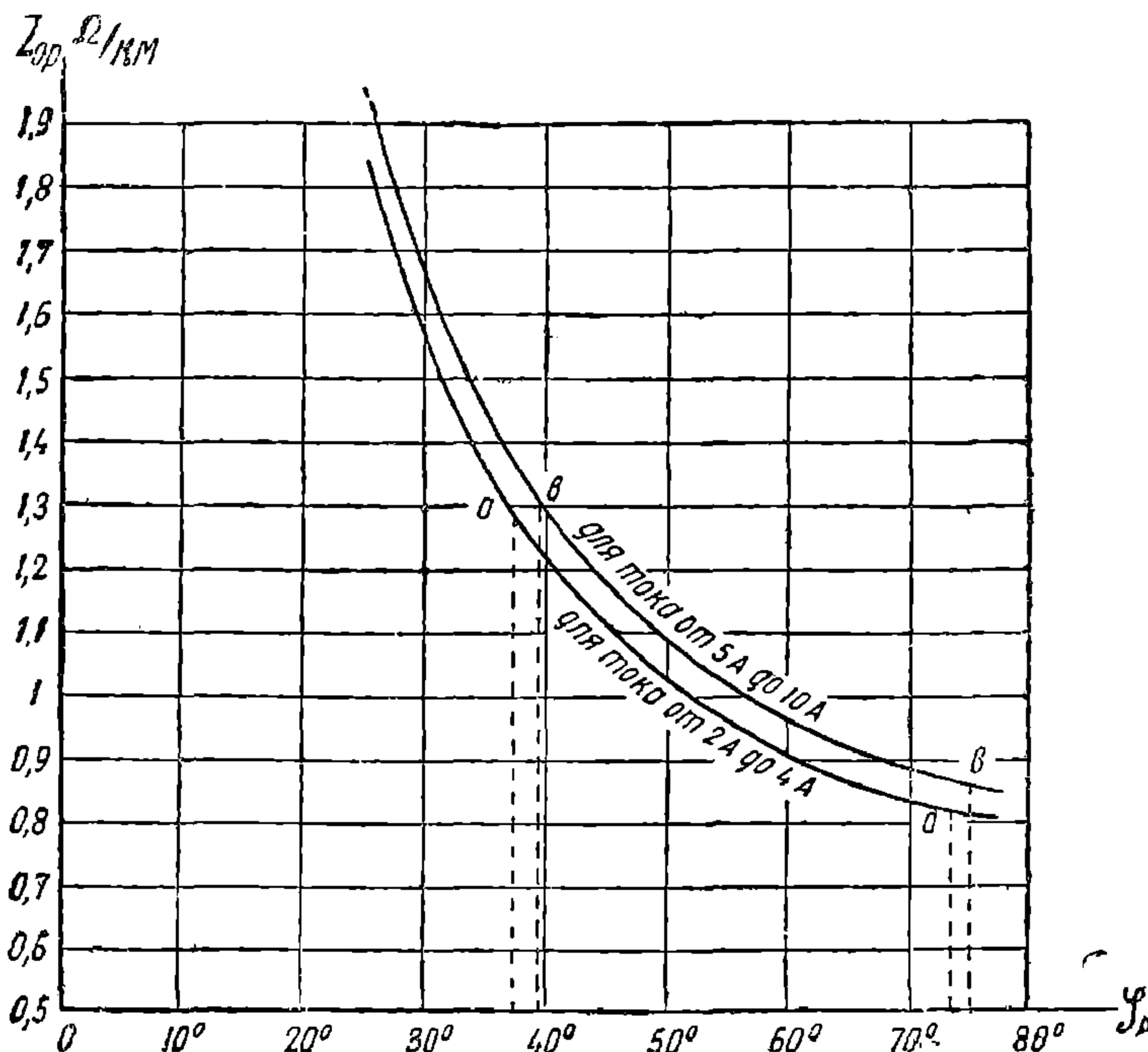


Рис. 50. Кривая  $z = f(\varphi)$ . Для рельсов 1—11а с железными штепсельными соединителями  $d = 5$  мм.

Величина  $l_1 \cong 920$  мм; полная же длина между головками рельсового штепсельного соединителя равна 1275 мм, а приварного между серединами манжет 170—200 мм.

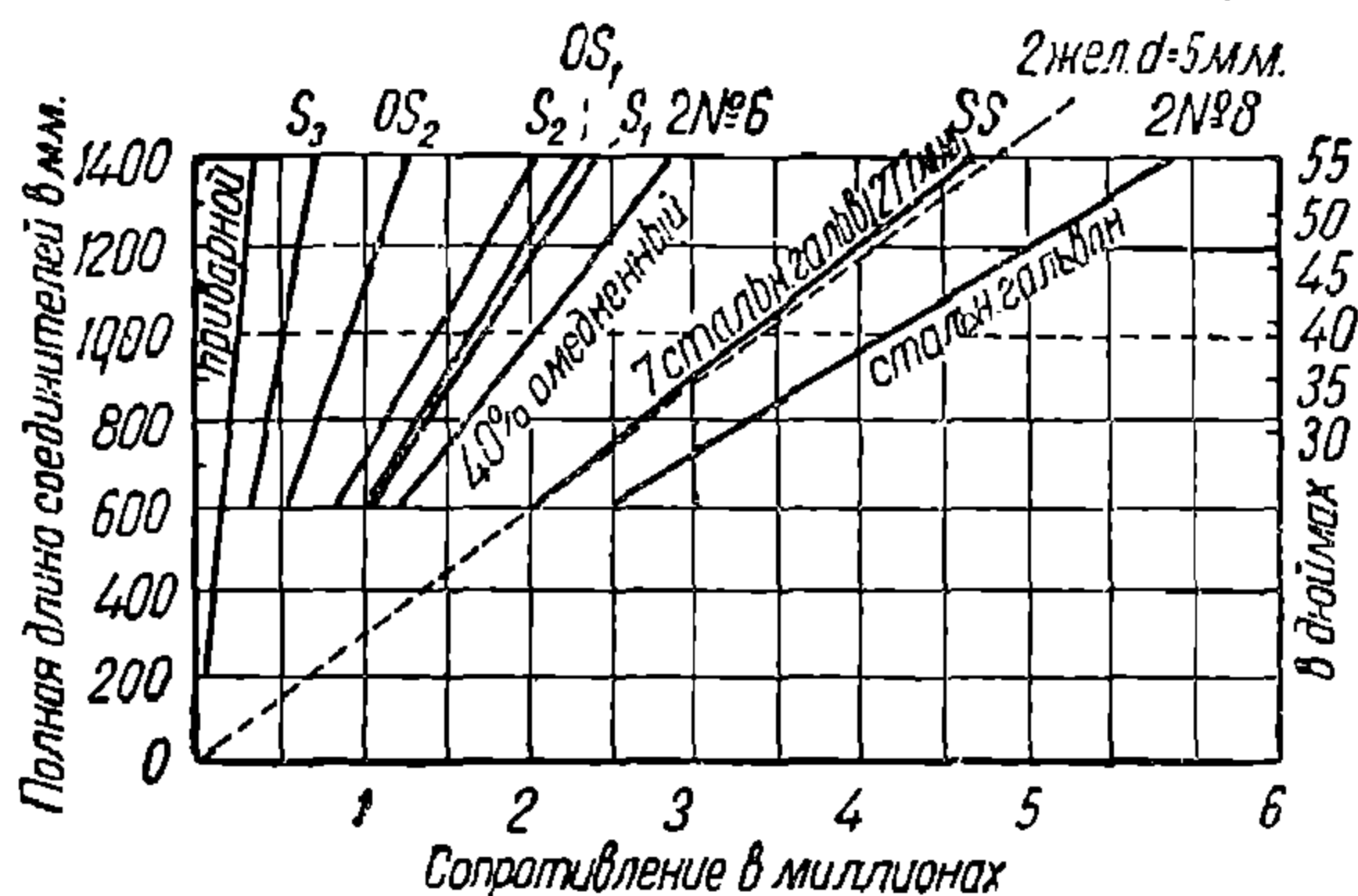
Сопротивление соединителей в миллиомах можно брать по графику (рис. 51).

При наличии незаржавленных стыковых накладок с болтами, снабженными пружинящими шайбами, найденное по уравнению (77)  $r$  может быть снижено на 20—30% за счет проводимости накладок. Сопротивление приварных соединителей часто выражается в

метрах цельного рельса; нормально оно равно 2,5—2,75 м цельного рельса.

Сопротивление цельных рельсов ( $r_1 \Omega/\text{км}$ ) может быть достаточно точно подсчитано, принимая, что удельное электрическое сопротивление материалов рельсов в 11,5 раза более сопротивления меди (ОСТ 420), т. е.

$$r_1 = \frac{17,48 \cdot 11,5}{Q}, \quad (78)$$



где  $Q$  — сечение рельсов, равное: для типа Ia— $5564 \text{ мм}^2$ , IIa— $4906,3 \text{ мм}^2$ , IIIa— $4275,8 \text{ мм}^2$  и IVa— $3945,1 \text{ мм}^2$ .

Подсчет полного сопротивления 1 км рельсовой цепи (две нитки) при переменном токе ( $z$  в  $\Omega/\text{км}$ ) и фазного угла  $\varphi$  производится по формулам:

$$z = \sqrt{r_w^2 + x^2} = \sqrt{r_w^2 + (\omega L)^2} \quad (79)$$

$$\text{и} \quad \text{tg } \varphi = \frac{\omega L}{r_w} \quad (80)$$

где  $L$  — коэффициент самоиндукции в  $\text{Н}/\text{км}$ .

Значения  $L$  можно принимать по следующей таблице:

Тип соедин.	Число проволок, материал и диаметр их
$S_1$	6 стальн. гальв. + 1 медная, $\varnothing 2,77 \text{ мм}$
$S_2$	7 омедненн. 40%, $\varnothing 2,58 \text{ мм}$
$S_2$	7 медных, $\varnothing 2,58 \text{ мм}$
2 № 8	2 стальн. гальв., $\varnothing 4,19 \text{ мм}$
2 № 6	2 омедн. 40%, $\varnothing 4,12 \text{ мм}$
$DS_1$	12 стальн. гальв. + 2 медн., $\varnothing 1,54 \text{ мм}$
$DS_2$	14 омеднен., $\varnothing 2,05 \text{ мм}$
SS	7 стальн. гальв., $\varnothing 2,77 \text{ мм}$

Рис. 51. График сопротивлений соединителей.

№ по пор.	Тип рельсовой цепи	Значения $L$ в $\text{Н}/\text{км}$		$r_n$	
		При токе в рельсах менее 5А	При токе в рельсах более 5А (до 10А)	При токе $> 5 \text{ А}$ в $\Omega/\text{км}$	При токе $< 5 \text{ А}$ (до 10А) в $\Omega/\text{км}$
1	Рельсы IIa с медными приварными соединителями	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,16	0,18
2	То же с железными штепсельными соединителями	$2,55 \cdot 10^{-3}$	$2,65 \cdot 10^{-3}$		
3	Рельсы IIIa с железными штепсельными соединителями	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$		

Значение активного сопротивления рельсовой цепи на 1 км может быть представлено в виде:

$$r_w = r + r_n,$$

где  $r$  — омическое сопротивление рельсовой цепи, могущее быть определенным по формуле (77), а  $r_n$  — увеличение сопротивления рельсов при переменном токе, вызываемое скин-эффектом, потерями на гистерезис и токи Фуко.

С достаточной для практики точностью  $r_n$  может быть принято постоянным, несколько меняющимся с величиной тока в рельсах, как указано в последней графе предыдущей таблицы.

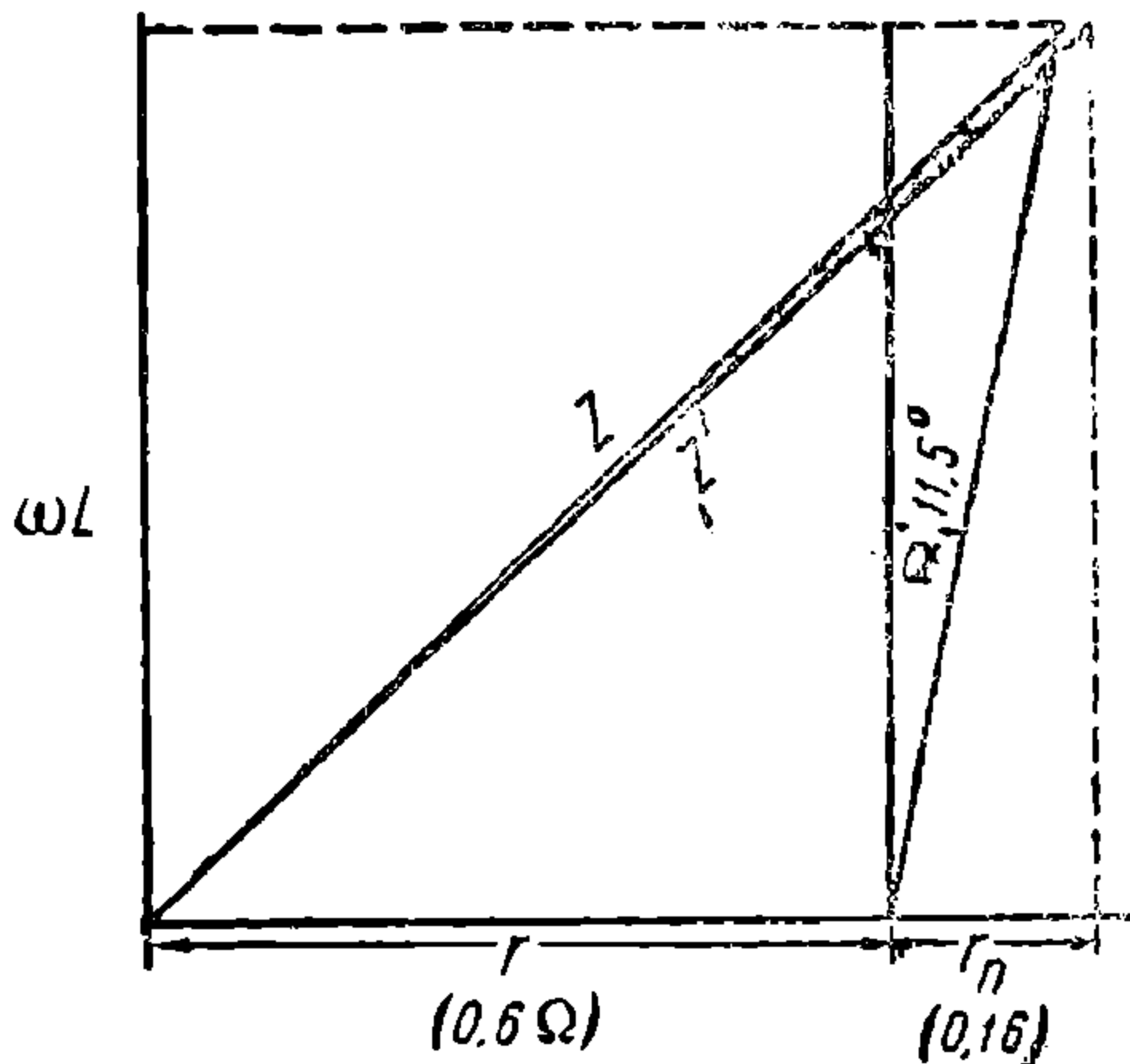


Рис. 52. Построение  $z$ .

Другим способом перехода от омического сопротивления рельсов к активному является построение  $z$ , указанное на рис. 52, при чем угол потерь  $\alpha$  принимается равным  $11,5-13^\circ$ . На том же рис. 52 параллельно сделано построение  $z'$ , учитывая  $r_n$ , данное в предыдущей таблице. Результаты, полученные двумя способами, почти совпадают.

По удельным сопротивлениям рельсов (в  $\Omega/\text{км}$ ) легко определяется сопротивление  $R$  или  $Z$  рельсовой цепи длиной  $l$  км; оно равно:

$$R = r \cdot l \quad (81)$$

или

$$Z = z \cdot l = z \cdot e^{j\varphi} \cdot l \quad (82)$$

Сопротивление или проводимость утечки для рельсовой цепи в  $l$  км определяется по формулам:

$$R_\delta = \frac{r_\delta}{l} \quad (83)$$

или

$$G = g \cdot l. \quad (84)$$

#### Нормы для $r_\delta$ .

Состояние рельсов	Минимальное сопротивление утечки $\Omega/\text{км}$	Среднее сопротивление утечки $\Omega/\text{км}$	Высокое сопротивление утечки $\Omega/\text{км}$
1. Песчаный балласт, касающийся рельсов	0,5	} 1,5	3 и более
2. То же, не касающийся рельсов . . . . .	0,6		
3. Щебеночный балласт, не касающийся рельсов .	0,7		

Наибольшее допустимое омическое сопротивление 1 км рельсовой цепи  $r = 0,8 \text{ } \Omega/\text{км}$ .

**Задача 53.** Подсчитать для случая наибольшей утечки  $Z_\lambda$  и  $\gamma l$  рельсовой цепи постоянного тока длиной  $l = 1,2 \text{ км}$ , имеющей щебеночный балласт, частично касающийся подошвы рельсов, и рельсы типа IIIa со штепсельными стыковыми соединителями из двух железных проволок  $d = 5 \text{ мм}$ . Длина рельсовых звеньев—12,5 м.

**Решение.** Для данного случая утечки  $r_\delta$  надо принять равным  $0,7 \text{ } \Omega/\text{км}$ . Сопротивление нитки цельных рельсов типа IIIa составит по формуле (78):

$$r_1 = \frac{17,48 \cdot 11,5}{4906,3} = 0,041 \text{ } \Omega/\text{км}.$$

Сопротивление двух ниток рельсовой цепи с заданными соединителями определяем по формуле (77), при чем будем иметь:

$$n = \frac{1000}{12,5} - 1 = 79;$$

$$l_1 = 0,92 \text{ м};$$

$s$  при длине 1,275 мм (по рис. 51) = 0,0043  $\Omega$ .

Подставляя найденные величины  $n$ ,  $s$ ,  $r_1$  и  $l_1$  в формулу (77), получим:

$$r = 2 \left[ 79 \cdot 0,0043 + 0,041 \frac{(1000 - 79 \cdot 0,92)}{1000} \right] = 2 \cdot 0,378 = 0,756 \text{ } \Omega/\text{км}.$$

Считая, что накладки понижают сопротивление на  $\sim 20\%$ , будем иметь окончательно:

$$r = 0,8 \cdot 0,756 = 0,6 \text{ } \Omega/\text{км}.$$

Имея  $r_\delta$  и  $r$ , определяем:

$$Z_\lambda = \sqrt{0,6 \cdot 0,7} = \sqrt{0,42} = 0,648 \text{ } \Omega$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{0,6}{0,7}} = 0,925;$$

$$\gamma l = 0,925 \cdot 1,2 = 1,11.$$

#### Варианты заданий к задаче 53

№№ вар.	$l$ км	Балласт	Рельсы типа	Длина звена $l_z$ м	Тип со- едини- теля	Сниже- ние со- против. наклад- ками	Сопротив- ление соеди- нителей ( $s$ )
1	0,8	Щебень, касающ. . .	IIIa	12,5	SS	20%	По рис. 51
2	0,9	Песчаный, не касающ.	IIIa	12,5	2 № 8	25%	»
3	1,4	Песчаный, касающ. .	Ia	15	Привар.	0%	2,7 м
4	1,1	Щебеночный, не каса- ющийся	IIIa	15	Привар.	0%	2,6 м



**Задача 54.** Рассчитать  $Z_\lambda$  и  $\gamma l$  для случая средней утечки рельсовой цепи переменного тока (не более 5А) длиной 0,9 км с приварными соединителями. Длина рельсовых звеньев 12,5 м. Число периодов переменного тока равно 50.

*Решение.* Соответственно заданию принимаем  $r_g = 1,5 \Omega/\text{км}$ . Сопротивление стыка с приварным соединителем принимаем равным 2,6 м цельного рельса, т. е.

$$\frac{0,041 \cdot 2,6}{1000} = 0,00011 \Omega.$$

Формула (77) в случае приварных соединений принимает более упрощенный вид:

$$r = 2(n \cdot s + r_1) = 2[79 \cdot 0,00011 + 0,041] = 2(0,0087 + 0,041) \cong 0,1 \Omega.$$

Влиянием накладок в данном случае пренебрегаем. Для определения  $\bar{z}$  находим  $r_w$  и  $\omega L$ ;

$$r_w = 0,1 + 0,16 = 0,26 \Omega,$$

$$\omega L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot 50 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3} = 0,722 \Omega.$$

Подставляя  $r_w$  и  $\omega L$  в формулу (79), получаем:

$$z = \sqrt{0,26^2 + 0,722^2} = 0,766 \Omega.$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{0,722}{0,26} = 2,78,$$

$$\varphi = 70,2^\circ; \quad \bar{z} = 0,766 \cdot e^{j \cdot 70,2^\circ}$$

Далее находим:

$$\bar{\gamma} = \sqrt{\frac{\bar{z}}{r_g}} = \sqrt{\frac{0,766 \cdot e^{j \cdot 70,2^\circ}}{1,5}} = 0,715 \cdot e^{j \cdot 35,1^\circ};$$

$$\gamma l = 0,9 \cdot 0,715 \cdot e^{j \cdot 35,1^\circ} = 0,643 \cdot e^{j \cdot 35,1^\circ}$$

и

$$Z_\lambda = \sqrt{\bar{z} \cdot r_g} = \sqrt{0,766 \cdot e^{j \cdot 70,2^\circ} \cdot 1,5} = 1,07 \cdot e^{j \cdot 35,1^\circ}.$$

Полученные тригонометрические формы комплексных величин  $\gamma l$  и  $\bar{Z}_\lambda$  могут быть превращены в алгебраические; такие превращения значительно облегчаются посредством номограммы (приложение V).

Пользуясь ею, мы находим:

$$\gamma l = 0,643 e^{j \cdot 35,1^\circ} = 0,5 + j \cdot 0,41$$

и

$$Z_\lambda = 1,07 e^{j \cdot 35,1^\circ} = 0,76 + j \cdot 0,75.$$

Варианты заданий к задаче 54

№№ вар.	$l$ км	Утечка $r_0$	Ток в рельс.	Рельсы типа	Длина звена	Тип соед.	Сопротивл. соед.	Сниже- ние со- против. наклад- ками
1	1,1	0,6	$< 5A$	IIa	12,5	Привар.	2,7 м	0%
2	1,3	0,7	$< 5A$	IIIa	12,5	2 жел. $d=5$ мм	по рис. 51	25%
3	0,8	2,0	$> 5A$	Ia	15,0	Привар.	2,7 м	0%
4	0,75	1,5	$> 5A$	IIa	12,5	SS	по рис. 51	20%

**Задача 55.** Определить сопротивление в  $\Omega/\text{км}$  и фазный угол для рельсов типа IIa с приварными соединителями при переменном токе с частотой  $100 \text{ Н}_2$ , применяемой при авто-регуливовке, полагая, что коэффициент самоиндукции  $L$  рельсов изменяется в зависимости от частоты по кривой рис. 53 и что  $r_0$  изменяется пропорционально частоте. Длина рельсовых звеньев  $12,5 \text{ м}$ .

**Решение.** Омическое сопротивление рельсов с приварными соединителями на  $1 \text{ км}$  определено в предыдущей задаче и равно  $0,1 \Omega/\text{км}$ . Коэффициент самоиндукции  $L$  для частоты  $100 \text{ Н}_2$  по кривой рис. 53 составит:

$$2,04 \cdot 10^{-3} \text{ Н/км},$$

следовательно

$$\omega L = 2\pi \cdot 100 \cdot 2,04 \cdot 10^{-3} = 1,28 \Omega/\text{км}.$$

Нахождение  $z$  и  $\varphi$  производим графически (рис. 54), пользуясь

построением угла потерь  $\alpha$ , принимаемого равным  $11,5^\circ$ : на оси абсцисс откладываем  $OA = r = 0,1 \Omega/\text{км}$ ; проводим  $AB \perp OA$  и под углом  $\alpha = 11,5^\circ$  к  $AB$  проводим линию  $AD$ . Пересечение  $AD$  с ли-

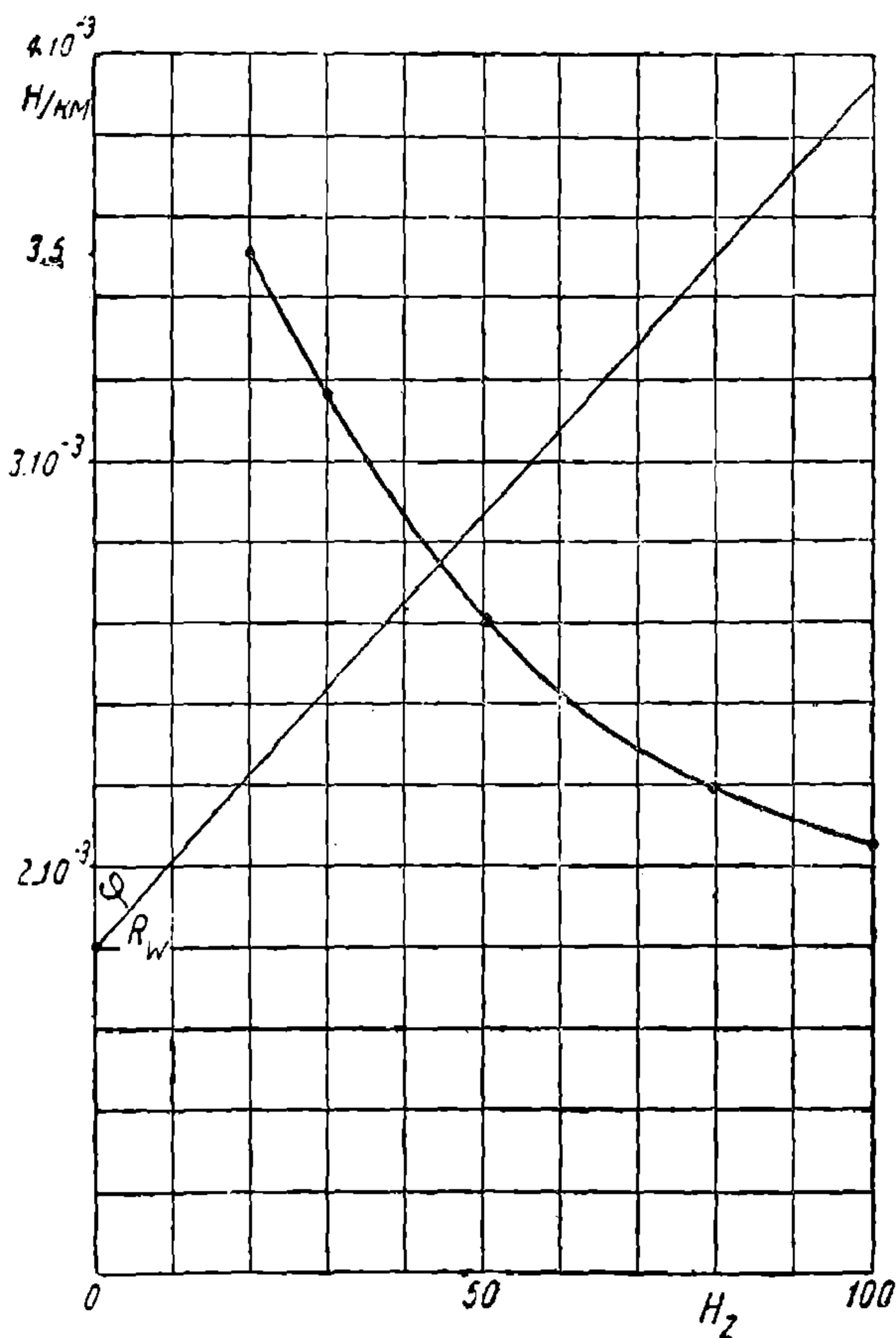


Рис. 53. Кривая коэффициента самоиндукции.

нией  $GE$ , проведенной параллельно оси абсцисс через точку  $G$ , причем  $OG = \omega L = 1,28 \text{ } \Omega/\text{км}$  определяет точку  $B$ , являющуюся концом вектора  $OB = z = 1,33 \text{ } \Omega/\text{км}$ . Измеренный транспортиром угол  $BOA = \varphi = 74^\circ$ .

**Задача 56.** При испытании постоянным током рельсовой цепи, состоящей из рельсов типа Ша со штепсельными соединителями из железной проволоки  $d = 5 \text{ мм}$ , методом холостого хода и короткого замыкания получены следующие величины:

$$V_x = 1,28V; \quad I_x = 0,8A; \quad V_k = 1,22V$$

и

$$I_k = 2,00 \text{ А.}$$

Длина рельсовой цепи  $l = 0,96 \text{ км}$  (из рельсовых звеньев по  $10 \text{ м}$ ). Определить по полученным данным удельное сопротивление рельсов и утечки баласта в  $\Omega/\text{км}$ .

*Решение.* По полученным значениям  $V_x$ ,  $I_x$ ,  $V$  и  $I_k$  находим:

$$R_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{1,28}{0,8} = 1,6 \text{ } \Omega$$

и

$$R_k = \frac{V_k}{I_k} = \frac{1,22}{2,0} = 0,61 \text{ } \Omega.$$

Зная  $R_x$  и  $R_k$  по формулам (73) и (74), получаем:

$$Z_\lambda = \sqrt{R_x \cdot R_k} = \sqrt{1,6 \cdot 0,61} = 0,987 \text{ } \Omega$$

Рис. 54. Графическое построение  $Z$ .

$$\begin{aligned} \gamma l &= 1,15 \lg \frac{\sqrt{\frac{R_x}{R_k} + 1}}{\sqrt{\frac{R_x}{R_k} - 1}} = 1,15 \lg \frac{1,62 + 1}{1,62 - 1} = 1,15 \cdot \lg \cdot 4,225 = \\ &= 1,15 \cdot 0,6258 = 0,72. \end{aligned}$$

При  $l = 0,96 \text{ км}$  имеем:

$$\gamma = \frac{0,72}{0,96} = 0,75.$$

По формулам (62) и (63) находим искомые:

$$r = \gamma \cdot Z_\lambda = 0,75 \cdot 0,987 = 0,74 \text{ } \Omega/\text{км}$$

И

$$r_{\delta} = \frac{0,987}{0,75} = 1,32 \Omega/\text{км.}$$

## Варианты заданий к задаче 56

№№ вар.	Тип рельсов	Соединители из желез. проволоки диам.	$V_x$	$I_x$	$V_k$	$I_k$	$l$ в м	Род и состояние баласта
1	IIIa	5 мм	2,55	0,79	0,7	1,84	900	Очень сухой песок на 50%, не касающийся подошвы
2	IIIa	4 »	2,15	1,07	1,18	1,59	1360	Сухой песок, на 50% не касается подошвы
3	IIIa	4 »	1,37	0,91	1,03	1,62	840	Сырой, касается подошвы на 100%
4	IIa	4 »	2,17	1,02	0,85	1,75	600	Слегка, влажный, касается подошвы на 100%

**Задача 57.** При испытании переменным током рельсовой цепи из рельсов IIa с медными приварными соединителями ( $q = 100 \text{ мм}^2$ ) методом холостого хода и короткого замыкания получены следующие величины:

$$\text{а) } V_x = 6,76 \text{ В, } I_x = 6,2 \text{ А и } \varphi_x = 11,5^\circ$$

и

$$\text{б) } V_k = 2,5 \text{ В, } I_k = 3,75 \text{ А и } \varphi_k = 58,7^\circ.$$

Длина рельсовой цепи  $l = 1,05 \text{ км}$ .

Определить по полученным данным сопротивление рельсов и утечки баласта ( $\Omega/\text{км}$ ) данной рельсовой цепи.

*Решение.* По данным значениям  $V_x$ ,  $I_x$ ,  $V_k$  и  $I_k$  определяем:

$$Z_x = \frac{6,76}{6,2} = 1,09 \Omega,$$

$$Z_k = \frac{2,5}{3,75} = 0,667 \Omega,$$

$$\varphi = \varphi_x + \varphi_k = 11,5^\circ + 58,7^\circ = 70,2^\circ.$$

Имея  $\varphi$  по кривой рис. 48 для рельсов типа IIa с приварными соединителями, находим удельное сопротивление  $z = 0,77 \Omega/\text{км}$ .

Далее, по формуле (76) определяем

$$r_{\delta} = \frac{Z_x \cdot Z_k}{z} = \frac{1,09 \cdot 0,667}{0,77} = 0,94 \Omega/\text{км.}$$

Имея  $Z$  и  $r_{\delta}$ , находим сопротивление рельсов и утечки для данной рельсовой цепи  $l = 1,05$  км:

$$Z = z \cdot l = 0,77 \cdot 1,05 = 0,808 \Omega$$

и

$$R_{\delta} = \frac{r_{\delta}}{1,05} = \frac{0,94}{1,05} = 0,896 \Omega.$$

#### Варианты заданий к задаче 57

№ вар.	Тип рельсов	Тип соединителей	$V_x$	$I_x$	$\varphi_x$	$V_k$	$I_k$	$\varphi_k$	Длина цепи $l$ в м
1	II-а	Штепсельный из жел. провол. 5 мм	10,1	5,75	5°	1,91	2,65	51,5°	900
2	II-а	То же	4,28	2,43	7,5°	1,33	1,85	53,7°	950
3	III-а		12,63	7,15	16°	6,49	3,93	26°	1970
4	II-а	Приварные медные	5,7	5,38	10,8°	3,92	5,65	54,3°	1050

**Задача 58.** Определить полное сопротивление  $Z$  рельсов и утечки щебеночного, не касающегося подошвы рельсов, баласта при наихудшем, среднем и хорошем состоянии его для рельсовой цепи длиной  $l = 1,25$  км, работающей на переменном токе  $50\text{Hz}$  (в секунду) при токе  $> 5\text{A}$ , если известно, что цепь составлена из рельсов типа IIа со штепсельными железными соединителями  $d = 5$  мм и фазный угол рельсов  $\varphi = 50^\circ$ .

Выразить  $Z$  в алгебраической форме комплексного числа.

*Решение.* По кривой рис. 50 находим при  $\varphi = 50$  удельное сопротивление  $z = 1,08 \Omega/\text{км}$ . Полное сопротивление рельсовой цепи  $l = 1,25$  км будет равно:

$$\bar{Z} = \bar{z} \cdot l = 1,08 \cdot 1,25 \angle 50^\circ = 1,35 \angle 50^\circ.$$

В алгебраическую форму комплексного числа  $Z$  переводим по номограмме (приложение V),

$$Z = 1,35 \angle 50^\circ = 0,87 + j \cdot 1,03.$$

Полное сопротивление утечки баласта при разных состояниях получится равным:

а) наихудшее

$$R_{\delta} = \frac{0,7}{1,25} = 0,56 \Omega,$$

б) среднее

$$R_{\delta} = \frac{1,5}{1,25} = 1,2 \Omega$$

и

в) хорошее

$$R_{\delta} = \frac{3}{1,25} = 2,4 \Omega.$$

#### Варианты заданий к задаче 58

№№ вар.	Род и состояние баласта	Тип рельсов	Тип соединителей	Длина цепи <i>l</i> км	Ток в цепи	$\varphi$
1	Песчаный, касающийся	IIa	Штепсельн. железный <i>d=5 мм</i>	1,4	< 5А	54°
2	Песчаный, не касающийся	IIIa	То же	1,1	> 5А	49°
3	Щебеночный	IIIa	»	0,75	> 5А	45°
4	Песчаный, касающийся	IIa	Приварные	1,3	> 5А	65,5°

#### ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахнин. Автоматическая блокировка. Энергоиздат, 1933.
2. Вахнин. Теория рельсовых цепей и их устройства, Трансжелдориздат, 1934.
3. Кутьин. Рельсовые цепи для автоблокировки. (Пятый сборник Инст. Транс. Электротех. НКПС). Гострансиздат, 1931.
4. Пономаренко. Рельсовые цепи переменного тока. Трансжелдориздат, 1934.
5. Научно-исследовательский институт эксплуатации ж. д. НКПС; Эксплуатационные требования и расчеты для составления проекта автоблокировки. Гострансиздат, 1932.
6. Займовский, Садиков и Кузнецов. Применение рельсов и сортового железа в качестве тролейных проводов крановых устройств. Цветмет. издат, 1933.

## VIII РАСЧЕТЫ ПО РЕОСТАТАМ (ОМИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЯМ), РЕАКТОРАМ, ТРАНСФОРМАТОРАМ И СТЫКОВЫМ ДРОССЕЛЯМ

Реостаты для установок СЦБ рассчитываются обычно на длительную работу так, чтобы при ней установившаяся температура не превышала окружающую более чем на  $80^{\circ}\text{C}$ .

При продолжительной нагрузке установившаяся температура нагрева получается тогда, когда затрачиваемая в реостате энергия будет равна излучаемой, т. е. когда будет соблюдено равенство.

$$I_{max}^2 \cdot R_0 (1 + \alpha \vartheta_2) = \vartheta_2 \cdot O \cdot S, \quad (85)$$

где:

$R_0$  — сопротивление реостата;

$\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления, равный для никелиновой проволоки 0,00022;

$\vartheta_2$  — установившаяся температура нагрева;

$O$  — коэффициент общей теплоотдачи (по Кулебакину, стр. 16, он для горизонтальных сопротивлений равен  $\frac{1}{100} - \frac{1}{300}$ );

$S$  — внешняя поверхность сопротивления, излучающая выделяемое в нем тепло.

Уравнение (85) может быть переписано в следующем виде:

$$\frac{I_{max}^2 \cdot R_0}{O \cdot S} = \frac{\vartheta_2}{1 + \alpha \vartheta_2}.$$

Обозначая

$$\frac{I_{max}^2 \cdot R_0}{O \cdot S} = M, \quad (86)$$

получим:

$$M = \frac{\vartheta_2}{1 + \alpha \vartheta_2},$$

откуда

$$\vartheta_2 = \frac{M}{1 - \alpha M}. \quad (87)$$

При подсчетах работы реакторов и трансформаторов в основном приходится применять формулы из „Основ электротехники“, касаю-

щиеся определения магнитного потока по данным ампервиткам и размерам магнитопровода, ЭДС самоиндукции—по магнитному потоку и виткам и т. д. Указанные формулы общеизвестны, поэтому предварительно они здесь не приводятся.

Подсчет потерь в железе производится по объему железа, принимая определенные удельные потери  $w$  на 1 кг при индукции 10000 гауссов и частоте 50 Hz — по ОСТ 3890; при той или иной полученной при расчете магнитной индукции  $B$  потери подсчитываются по формуле:

$$W_{ac} = w \left( \frac{B}{10\,000} \right)^2 \cdot Q_{жж}. \quad (88)$$

где  $w$ —удельные потери на 1 кг и  $Q_{жж}$ —вес железа.

Условия работы реакторов, трансформаторов и стыковых дросселей наиболее удобно и наглядно представляются посредством векторных диаграмм, обстоятельно изложенных во втором томе „Основ электротехники“ Круга.

Векторные диаграммы широко применены при решении задач настоящего отдела.

Для построения векторных диаграмм, изображающих работу трансформаторов, последние представляются схемами замещения, постоянные которой рассчитываются на основе данных, полученных при испытании трансформаторов методом холостого хода и короткого замыкания.

Посредством также векторных диаграмм решаются задачи по определению условий работы стыковых дросселей, параллельно как с трансформаторами, так и с путевыми реле; векторные диаграммы в последнем случае дают возможность наглядно иллюстрировать влияние фазного угла реле на общий расход тока на релейном конце рельсовой цепи.

**Задача 59.** Реостат из никелиновой проволоки с удельным сопротивлением  $\rho = 0,4 \text{ } \Omega/\text{мм}^2$  с оксидной изоляцией, намотанной в ряд на изолирующий цилиндр ( $D = 30 \text{ мм}$ ), рассчитан на максимальное сопротивление  $R_{max} = 10 \text{ } \Omega$  при предельном значении пропускаемого тока  $I_{max} = 1,8 \text{ А}$ . Проверить, допустимую ли температуру может иметь указанный реостат при максимальной нагрузке, если реостат изготовлен из проволоки 0,8 мм диаметром и окружающая температура равна  $35^\circ \text{ С}$ .

*Решение:* Сечение проволоки  $d = 0,8 \text{ мм}$  будет равно:

$$q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} \cong 0,5 \text{ мм}^2.$$

Длина проволоки  $L$ , потребной для реостата в  $10 \Omega$ , определится из соотношений

$$R_{max} = \frac{\rho \cdot L}{q},$$

откуда

$$L = \frac{R_{max} \cdot q}{\rho}$$



Подставляя в уравнение (89) величины  $R_{max} = 10 \Omega$ ,  $q = 0,5 \text{ мм}^2$  и  $\rho = 0,4 \Omega \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$ , найдем:

$$L = \frac{10 \cdot 0,5}{0,4} = 12,5 \text{ м.}$$

При намотке на изолирующий цилиндр диаметром  $D = 30 \text{ мм}$  указанной проволоки получится витков:

$$X = \frac{L}{\pi(D + 0,8)} = \frac{12500}{\pi(30 + 0,8)} \cong 130 \text{ витков.}$$

Длина поверхности обмотки реостата будет:

$$L_1 = 130 \cdot 0,8 = 104 \text{ мм}$$

и внешняя поверхность ее

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L_1 = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} \cdot 10,4 = 73,5 \text{ см.}$$

Величина  $M$  после подстановки в уравнение (86) величин  $I_{max}$ ,  $R_0 = R_{max} S$  и  $O$  (принимаемого в среднем равным  $\frac{1}{250}$ ), получится равной:

$$M = \frac{1,8^2 \cdot 10}{\left(\frac{1}{250}\right) \cdot 73,5} = 110.$$

Установившаяся температура  $\vartheta_2$  будет равна:

$$\vartheta_2 = \frac{110}{1 - \alpha \cdot 110} = \frac{110}{1 - 0,00022 \cdot 110} = \frac{110}{0,976} = 112,8^\circ \text{ С.}$$

Превышение установившейся температуры над окружающей будет:

$$112,8 - 35 = 77,8 \text{ С.}$$

Такое повышение температуры допустимо.

**Задача 60.** Построить векторную диаграмму для реактора (типа РОБС) при предельном токе 4 А; эскиз магнитной цепи (из листового железа 0,5 мм) реактора показан на рис. 55; обмотка реактора имеет 161,5 виток и сделана из проволоки ПБД диаметром 1,3 мм; воздушный зазор в цепи реактора  $\delta = 0,33 \text{ мм}$ .

*Решение.* Для построения векторной диаграммы реактора надо знать ваттный ток  $I_{\text{ж}}$ , обусловленный потерями в железе, и потери в меди. Сечение железа сердечника реактора будет

$$Q = 4,4 \cdot 3,2 \cong 14 \text{ см}^2.$$

Максимальный магнитный поток в сердечнике находится по известной из электротехники формуле:

$$\Phi_{max} = \frac{n \cdot I_{max} \cdot \sqrt{2}}{0,8 \Sigma \frac{l}{\mu Q}} \quad (90)$$

Пренебрегая магнитным сопротивлением железа, будем иметь:

$$\begin{aligned} \Phi_{max} &= \frac{n \cdot I_{max} \cdot \sqrt{2}}{0,8 \cdot \frac{2\delta}{Q}} = \\ &= \frac{161,5 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} \cdot 14}{0,8 \cdot 2 \cdot 0,033} = 242\,000. \end{aligned}$$

Электродвижущая сила, индуцированная в обмотке реактора указанным магнитным потоком, будет:

$$\begin{aligned} E_s &= 4,44 \cdot \Phi_{max} \cdot f \cdot n \cdot 10^{-8} = \\ &= 4,44 \cdot 242\,000 \cdot 50 \cdot 161,5 \cdot 10^{-8} = \\ &= 86,7 \text{ V}. \end{aligned}$$

Зная  $\Phi_{max}$  получим индукцию в воздушном зазоре:

$$B_0 = \frac{242\,000}{14} = 17300.$$

В железе, учитывая сокращение активного сечения железа изоляцией приблизительно на 10%, будем иметь индукцию:

$$B = \frac{17300}{0,9} \cong 19\,000.$$

Вес  $Q_{ж}$  железа реактора рассчитывается соответственно по данному эскизу; он будет равен:

$$\begin{aligned} Q_{ж} &= \gamma \cdot \beta \cdot V_{ж} = 7,8 \cdot 0,9 (6,2 \cdot 4,4 \cdot 9,8 - 3,4 \cdot 3,2 \cdot 4,4) = \\ &= 7,8 \cdot 0,9 \cdot 219,2 = 1\,540 \text{ г} = 1,54 \text{ кг} \end{aligned}$$

( $\gamma$ —удельный вес железа,  $\beta$ —коэффициент заполнения = 0,9 и  $V_{ж}$ —объем железа).

Принимая, что реактор сделан из железа марки СтД, для которого потери в железе (по ОСТ 3890) составляют на 1 кг веса 3,3W

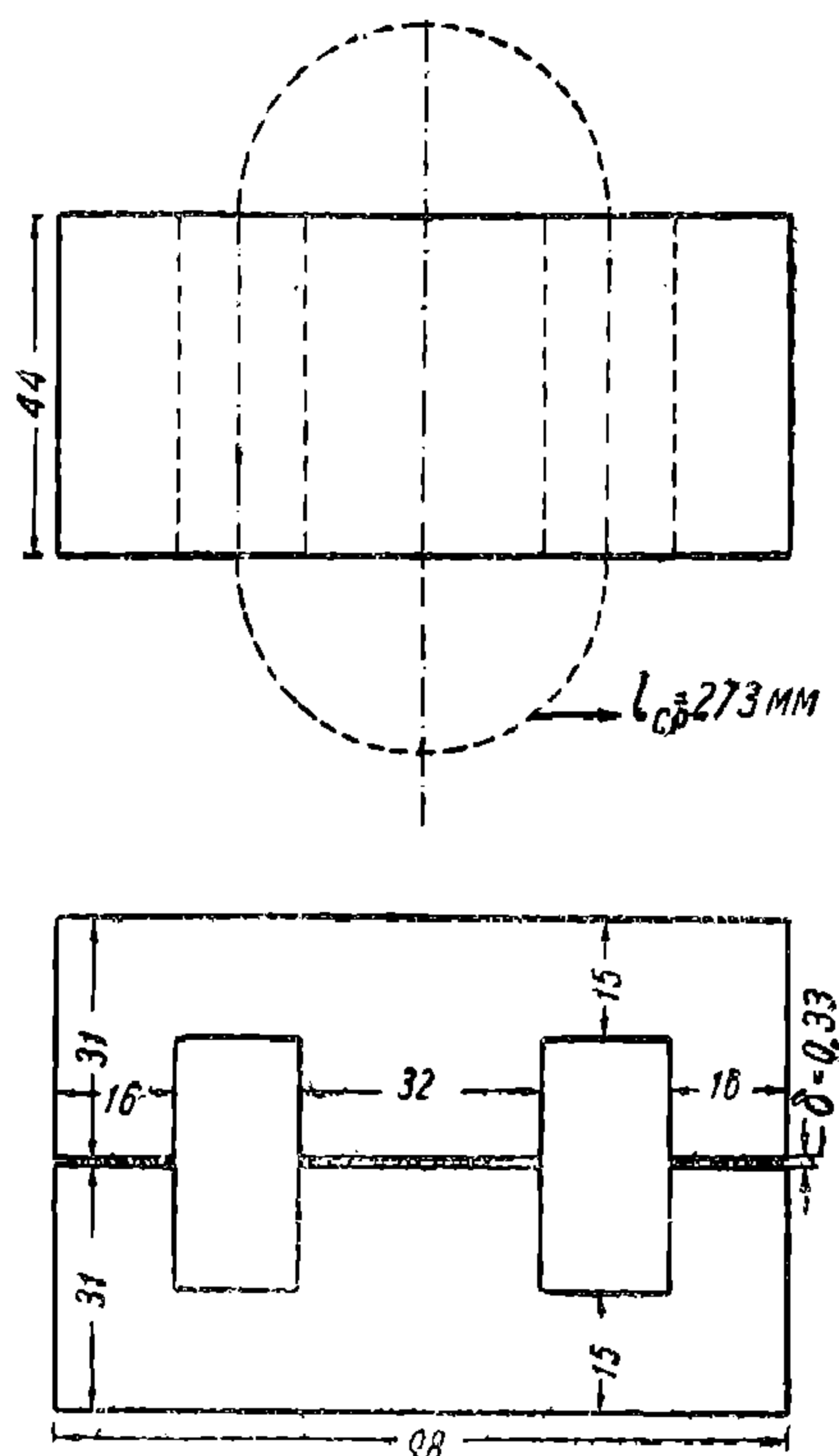


Рис. 55. Эскиз магнитной цепи реактора.

при индукции 10 000 гаусс и при частоте 50 Hz, мы при полученной индукции в железе ( $B = 19\,000$  гаусс) будем иметь потери:

$$W_{\text{от}} = 3,3 \left( \frac{19\,000}{10\,000} \right)^2 \quad Q_{\text{от}} = 3,3 \cdot 3,61 \cdot 1,54 = 18,35 \text{ W.}$$

Так как

$$W_{\text{от}} = E_s \cdot I_{\text{от}}, \quad (91)$$

то из соотношения (91) находим:

$$I_{\text{от}} = \frac{18,35}{86,7} = 0,212 \text{ A.}$$

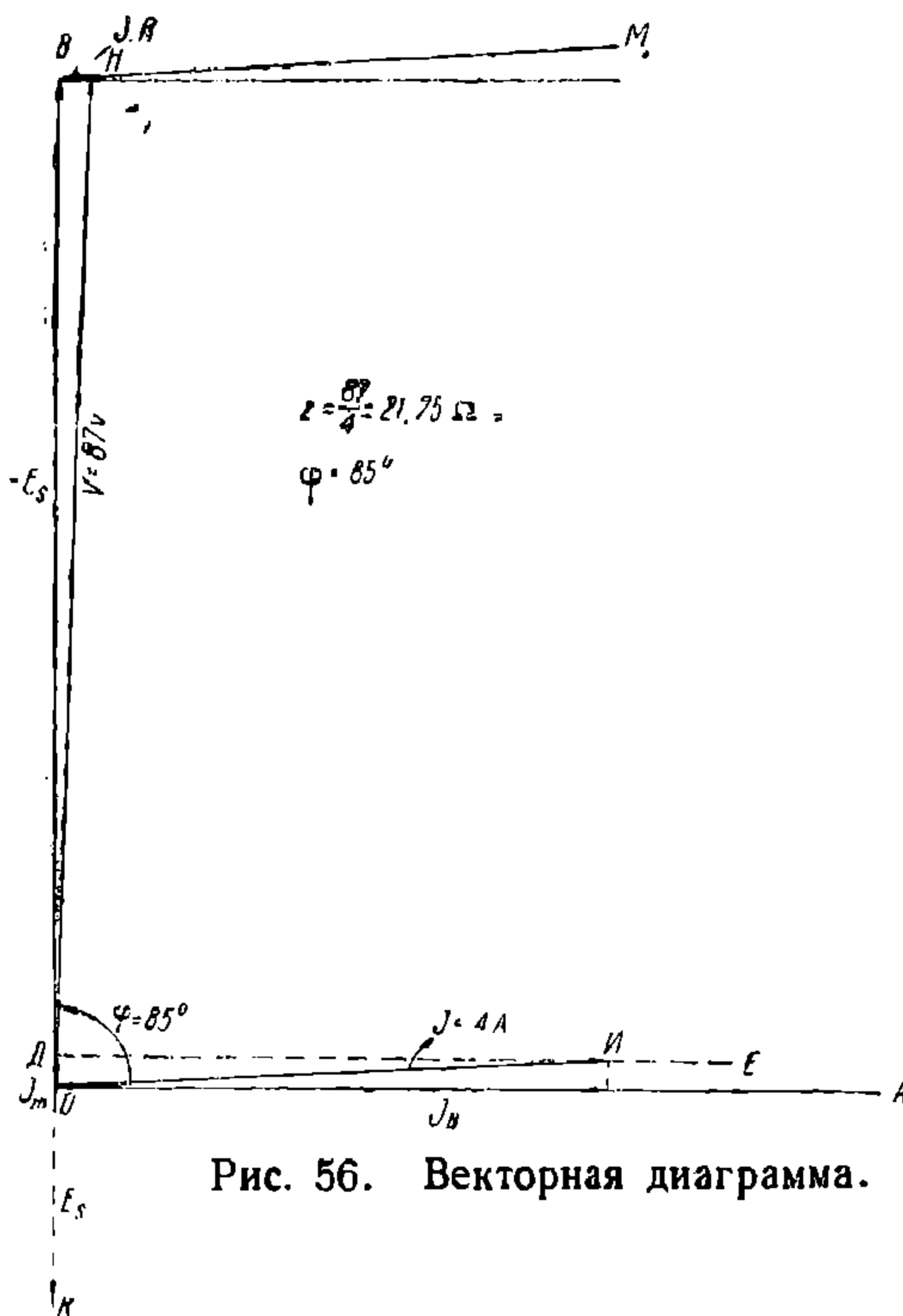
Омическое сопротивление обмотки реактора определяем по формуле:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{q} = \rho \frac{L}{\left( \frac{\pi \cdot 1,3^2}{4} \right)},$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление меди, принимаемое равным 0,2 в виду нагрева обмоток и  $L$  — длина всей обмотки;  $L$  находим, зная число витков и определив по эскизу магнитной цепи среднюю длину витка обмотки  $l_{\text{cp}}$ :

$$l_{\text{cp}} = \pi \cdot 5,9 + 2 \cdot 4,4 = 27,3 \text{ см;}$$

$$L = 161,5 \cdot 27,3 \text{ см} = 4\,420 \text{ см} = 44,2 \text{ м.}$$



Тогда

$$R = \frac{1}{50} \cdot \frac{44,2}{1,33} = 0,664 \Omega.$$

Потери напряжения в меди будут равны:

$$V_m = 4 \cdot 0,664 = 2,656 \text{ V}$$

Имея  $I_{\text{от}}$  и  $V_m$ , приступаем к построению векторной диаграммы (рис. 56), приняв оси координат  $OA$  и  $QB$ , откладываем в масштабе на оси ординат ваттный ток  $I_{\text{от}} = OD$ ; проведя линию  $DE \parallel OA$ , мы из точки  $O$  засекаем на ней радиусом  $I = 4 \text{ A}$  точку  $I$ ; вектор  $OI$  будет изображать полный предельный ток, являющийся суммой токов  $I_{\text{от}}$  и  $I_n$  (намагничивающего); электродвижущая сила индукции в обмотке реактора будет представлена вектором  $OK = E_s = 86,7 \text{ V}$ ; уравновешивающая ее электродвижущая сила ( $-E_0$ ) будет представлена вектором  $OB = 86,7 \text{ V}$ ; проведя через точку  $B$  линию  $BM \parallel OI$ , откла-

дываем на ней вектор  $BH = I \cdot R = 2,656 \text{ V}$ ; вектор  $OH$  будет представлять полное напряжение на зажимах реактора;  $OH = 87 \text{ V}$ .

Максимальное сопротивление реактора получится равным:

$$Z = \frac{V}{I_{\max}} = \frac{87}{4} = 21,75 \Omega;$$

фазный угол, измеренный по рис. 56, равен  $\varphi = 85^\circ$

Сравнивая  $Z$  и  $\varphi$ , полученные вышеприведенным расчетом с фактическими, имеющими у реактора РОБС ( $Z = 20,7 \Omega$  и  $\varphi = 80^\circ$ ) находим небольшое расхождение, объясняемое приближенным методом расчета.

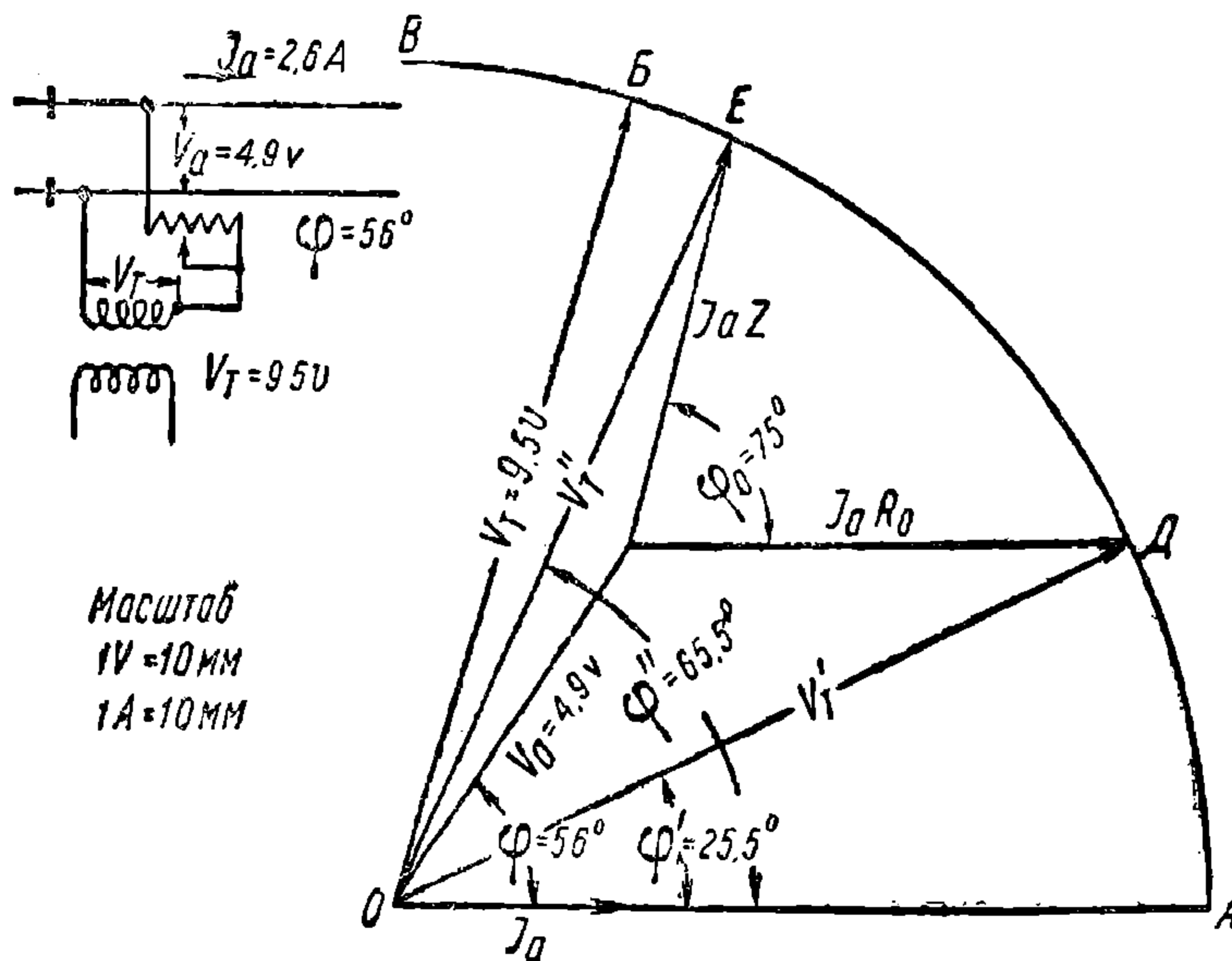


Рис. 57. Графическое решение задачи 61

**Задача 61.** На питающем конце рельсовой цепи (рис. 57) требуется для нормальной работы иметь напряжение  $V_a = 4,9 \text{ V}$  при токе  $I_a = 2,6 \text{ A}$  и фазном угле  $\varphi = 56^\circ$ . Подавая питание от клемм путевого трансформатора, дающих  $V_T = 9,5 \text{ V}$ , определить, какое сопротивление можно будет включить между трансформатором и рельсами в случае применения:

- реостата (омического сопротивления);
- реактора с фазным углом  $\varphi_0 = 75^\circ$ .

Сравнить расход энергии, забираемой от трансформатора, в первом и во втором случае; сопротивлением соединительных проводников пренебрегаем.

**Решение.** Задачу решаем графически (рис. 57); построив по масштабу  $V_a = 4,9 \text{ V}$  и  $I_a = 2,6$  с углом между ними в  $56^\circ$ , описываем из точки  $O$  дугу  $AB$  радиусом  $V_T = 9,5 \text{ V}$ ; проведя из точки  $\Gamma$  прямую  $\Gamma D \parallel OA$ , находим, что в омическом сопротивлении может

быть поглощено напряжение  $\Gamma D = I_a R_0 = 5,95 \text{ V}$ ; зная  $I_a$ , находим искомое значение  $R_0$ :

$$R_0 = \frac{5,95}{2,6} = 2,29 \text{ } \Omega.$$

Для отыскания сопротивления реактора проводим из точки  $\Gamma$  прямую  $\Gamma E$  под углом  $\varphi_0 = 75^\circ$ , тогда отрезок  $\Gamma E$  будет равен тому напряжению, которое может быть поглощено в реакторе; это напряжение равно по измерению  $4,75 \text{ V} = I_a \cdot Z$ ; откуда при  $I_a = 2,6 \text{ A}$

$$Z = \frac{4,75}{2,6} = 1,83 \text{ } \Omega.$$

Сдвиг фаз между напряжением и током при омическом резисторе по рисунку получается равным  $\varphi' = 25,5^\circ$ , а при реакторе  $\varphi'' = 65,5^\circ$ .

Потребляемая мощность в первом случае будет:

$$P' = V_m' \cdot I_a \cdot \cos \varphi' = 9,5 \cdot 2,6 \cdot 0,9 = 22,2 \text{ W}$$

и во втором случае будет:

$$P'' = V_m'' \cdot I_a \cdot \cos \varphi'' = 9,5 \cdot 2,6 \cdot 0,415 = 10,25 \text{ W}.$$

Сравнивая потребление энергии в обоих случаях, видим, что при реакторе потребление энергии более чем вдвое меньше.

Варианты заданий по условию задачи 61

№№ вариантов	$V_a$	$I_a$	$\varphi_a$	$V_m$	$\varphi_0$
1	3,15	2,4	$46^\circ$	8,3	$78^\circ$
2	2,3	1,4	$35^\circ$	4,7	$80^\circ$
3	1,7	1,1	$53^\circ$	3,6	$78^\circ$
4	4,8	3,2	$37^\circ$	10,0	$80^\circ$
5	3,4	2,5	$71^\circ$	7,1	$78^\circ$

**Задача 62.** По испытаниям путевого трансформатора типа ПОБС методом короткого замыкания и холостого хода получено:

а) напряжение на клеммах первичной обмотки:  $V_{1\#} = 5,76 \text{ V}$  при токе  $I_{1\#} = 3 \text{ A}$ ;

б) потребление энергии  $W_{1\#} = 15,17 \text{ W}$ ;

в) ток холостого хода  $I_0 = 0,392 \text{ A}$  при напряжении  $V_1 = 110 \text{ V}$  и фазном угле  $\varphi_0 = 79,5^\circ$ . Омические сопротивления обмоток: первичной —  $r_{\omega 1} = 0,6 \Omega$  и вторичной  $r_{\omega 2} = 0,02$ ; коэффициент трансформации  $u = 6,15$ . Построить схему замещения для указанного трансформатора на основании приведенных данных.

*Решение.* Для построения схемы замещения требуется найти постоянные: а) первичной обмотки  $r_1$  и  $x_1$ ; б) вторичной обмотки (приведенные к первичной обмотке)  $r'_2$  и  $x'_2$  и в) утечки  $r_0$  и  $x_0$ . Из данных опыта короткого замыкания имеем соотношение:

$$V_{1к} = I_{1к} \cdot z_{\bullet}$$

Откуда:

$$z_{\bullet} = \frac{V_{1к}}{I_{1к}} = \frac{5,76}{3} = 1,92 \Omega$$

( $Z_{\bullet}$  — полное сопротивление трансформатора, соответствующее его обеим обмоткам).

Кроме того, можем написать равенство:

$$W_{1к} = I_{1к}^2 \cdot r_{\kappa}$$

где  $r_{\kappa}$  — полное ваттное сопротивление трансформатора; подставляя в предыдущее равенство известные значения  $W_{1к}$  и  $I_{1к}$ , находим:

$$15,17 = 3^2 \cdot r_{\kappa} \text{ или } r_{\kappa} = \frac{15,17}{9} = 1,685 \Omega.$$

Зная  $Z_{\bullet}$  и  $r_{\kappa}$ , можем найти соответствующее им  $x_{\kappa}$ ; оно будет равно:

$$x_{\kappa} = \sqrt{z_{\bullet}^2 - r_{\kappa}^2} = \sqrt{1,92^2 - 1,685^2} = 0,92 \Omega.$$

Значения ваттных и безваттных сопротивлений для отдельных обмоток трансформатора можно получить, разделив найденные значения  $r_{\kappa}$  и  $x_{\kappa}$  в отношении омических сопротивлений первичной и вторичной обмоток, при чем сопротивление последней должно быть приведено к первичной обмотке.

Омическое сопротивление первичной обмотки  $r_{\omega 1} = 0,6 \Omega$ ; омическое сопротивление вторичной, приведенное к первичной обмотке, будет:

$$r'_{\omega 2} = r_{\omega 2} \cdot u^2 = 0,02 \cdot 6,15^2 = 0,756 \Omega.$$

Деля  $r_{\kappa}$  в отношении  $r_{\omega 1}$  и  $r'_{\omega 2}$ , получим,

$$r_1 = \frac{r_{\kappa} \cdot r_{\omega 1}}{r_{\omega 1} + r'_{\omega 2}} = \frac{1,685 \cdot 0,6}{0,6 + 0,756} = 0,745 \Omega$$

и

$$r'_2 = \frac{r_{\kappa} \cdot r'_{\omega 2}}{r_{\omega 1} + r'_{\omega 2}} = \frac{1,685 \cdot 0,756}{0,6 + 0,756} = 0,94 \Omega.$$

По известным  $Z_{\kappa}$ ,  $r_1$ ,  $r'_2$  и  $\varphi_{\kappa}$  можем построить треугольник короткого замыкания (рис. 58), из которого получаем:

$$x_1 = 0,41 \Omega \text{ и } x'_2 = 0,51 \Omega.$$

Постоянные утечки находятся из данных опыта холостого хода и следующих зависимостей:

$$Z_0 = \frac{V_1}{I_0}, \quad (92)$$

безваттная проводимость

$$b_0 = \frac{I_{0\sigma}}{V_1}, \quad (93)$$

где  $I_{0\sigma}$  — безваттная составляющая тока  $I_0$ , равная  $I_0 \cdot \sin \varphi_0$  и ваттная проводимость

$$g_0 = \frac{I_{0g}}{V_1}, \quad (94)$$

где  $I_{0g}$  — ваттная составляющая тока  $I_0$ , равная  $I_0 \cdot \cos \varphi_0$ .

Так как величины, входящие во вторые части уравнений (92) (93) и (94), известны, то по ним легко определяются искомые:

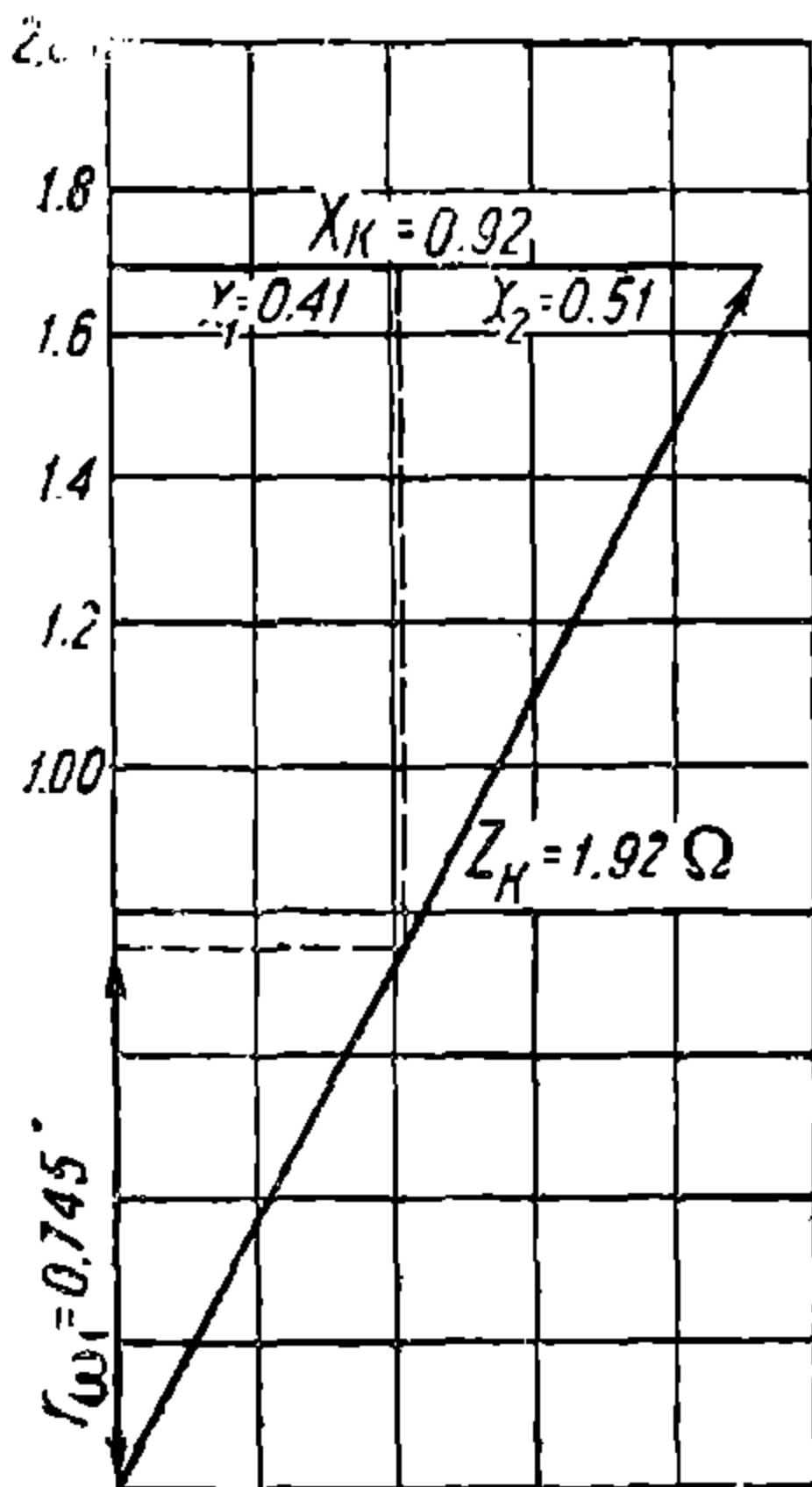


Рис. 58. Графическое решение задачи 62.

$$Z_0 = \frac{110}{0,392} = 281 \Omega,$$

$$b_0 = \frac{I_0 \cdot \sin \varphi_0}{V_1} = \frac{0,392 \cdot 0,988}{110} = 0,00353 \text{ в};$$

$$g_0 = \frac{I_0 \cdot \cos \varphi_0}{V_1} = \frac{0,392 \cdot 0,183}{110} = 0,000654 \text{ в};$$

$$x_0 = 0,00353 \cdot 281^2 = 279$$

и

$$r_0 = 0,000654 \cdot 281^2 = 51,7 \Omega,$$

Теперь все требуемые для схемы замещения данные найдены; построенная по ним схема замещения показана на рис. 59.

**Задача 63.** По схеме замещения (рис. 59) путевого трансформатора построить векторную диаграмму трансформатора при нагрузке вторичной цепи:  $V_2 = 14,5 \text{ В}$ ;  $I_2 = 21 \text{ А}$  и  $\varphi_2 = 22^\circ$ . Коэффициент трансформации  $u = 7$ .

*Решение.* Прежде всего приводим  $V_2$  и  $I_2$  к первичной обмотке, при чем получаем:

$$V_2' = V_2 \cdot u = 14,5 \cdot 7 = 101,5 \text{ В}$$

и

$$I_2' = I_2 \cdot \frac{1}{u} = \frac{21}{7} = 3 \text{ А}.$$

Строим вектор  $OA = V_2' = 101,5 \text{ В}$  и под углом  $22^\circ$  к нему вектор  $I_2' = 3 \text{ А}$ . При прохождении тока  $I_2'$  через сопротивления вторичной обмотки  $r_2'$  и  $x_2'$  получится падение напряжения:

$$I_2' \cdot r_2' = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ В}$$

и

$$I_2' \cdot x_2' = 3 \cdot 2,5 = 7,5V.$$

Полученные падения напряжения откладываем в виде векторов  $AB \parallel OG \parallel I_2'$  и  $BV \perp OG \perp I_2'$  (рис. 60). Замыкающий вектор  $OB$  будет равен напряжению в месте разветвления (или утечки); он будет равен электродвижущей силе  $E_2'$ , индуцируемой главным магнитным потоком;  $OB$  по построению равно  $107\text{ V}$ ; подводимое со стороны первичной обмотки напряжение  $V_1$  должно уравнивать указанную электродвижущую силу  $E_2'$  плюс падение напряжения в первичной обмотке, вызываемое первичным током  $I_1$ . Для нахождения  $I_1$  строим параллелограмм на сторонах:  $OD = I_0$  и  $OE = -I_2'$ ; диагональ  $OИ$  указанного параллелограмма будет представлять ток  $I_1$ ; он по масштабу получился равным  $3,35\text{ A}$ . Прибавив к вектору  $E_1 = OK$  вектора падения напряжения:

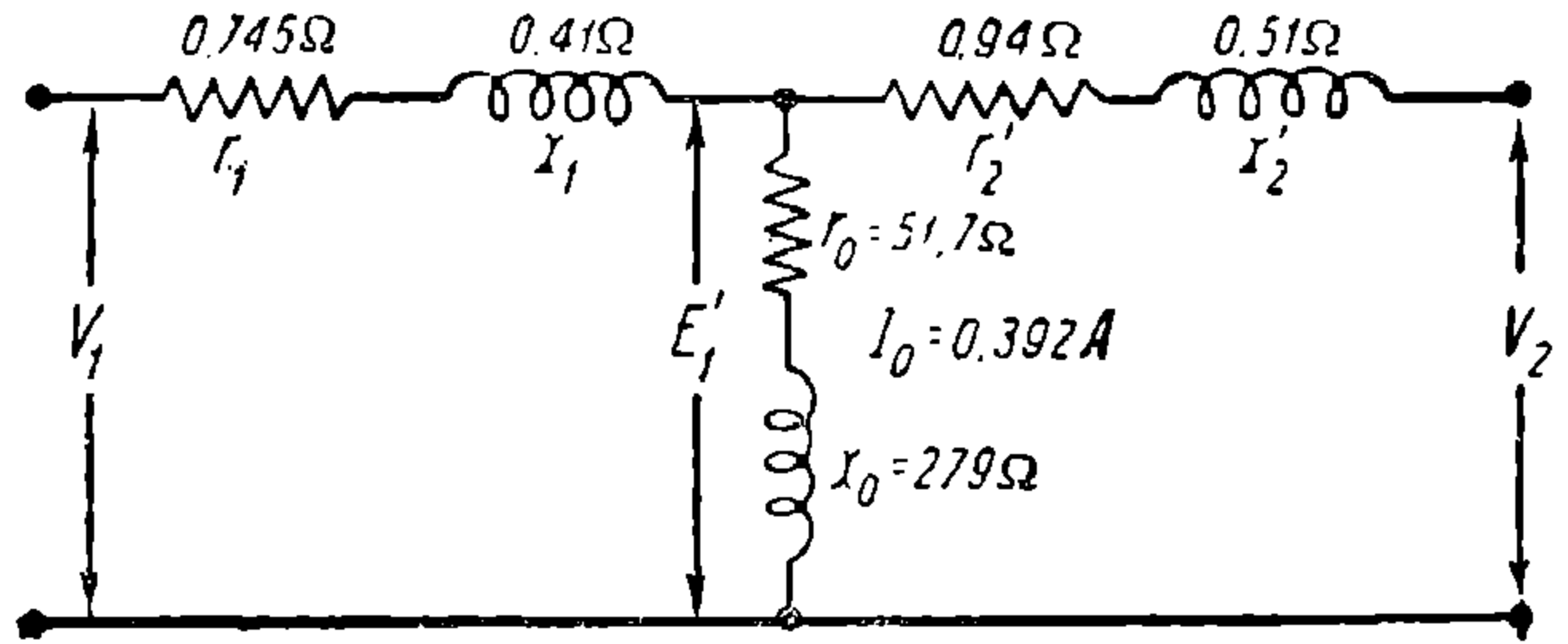


Рис. 59. Схема замещения.

получим замыкающий вектор  $OM = V_1 =$  напряжению на клеммах первичной обмотки; оно по масштабу получилось равным  $113\text{ V}$ .

$$KL = I_1 \cdot r_1 = 3,35 \cdot 1 = 3,35\text{ V}$$

и

$$LM = I_1 \cdot x_1 = 3,35 \cdot 1,6 = 5,36\text{ V},$$

получим замыкающий вектор  $OM = V_1 =$  напряжению на клеммах первичной обмотки; оно по масштабу получилось равным  $113\text{ V}$ .

Варианты заданий по условиям задачи 63

№№ вариантов.	$r_1$	$X_1$	$r_2'$	$x_2'$	$u$	$I_0$	$\varphi_0$	$V_2$	$I_2$	$\varphi_2$
1	0,75	0,4	0,95	0,5	7	0,4	79,5	16,5	18	65°
2	0,8	0,5	1,0	0,6	6,5	0,6	76	15	16	-25°
3	1,0	1,2	1,2	1,5	6,5	0,5	77	16	20	0

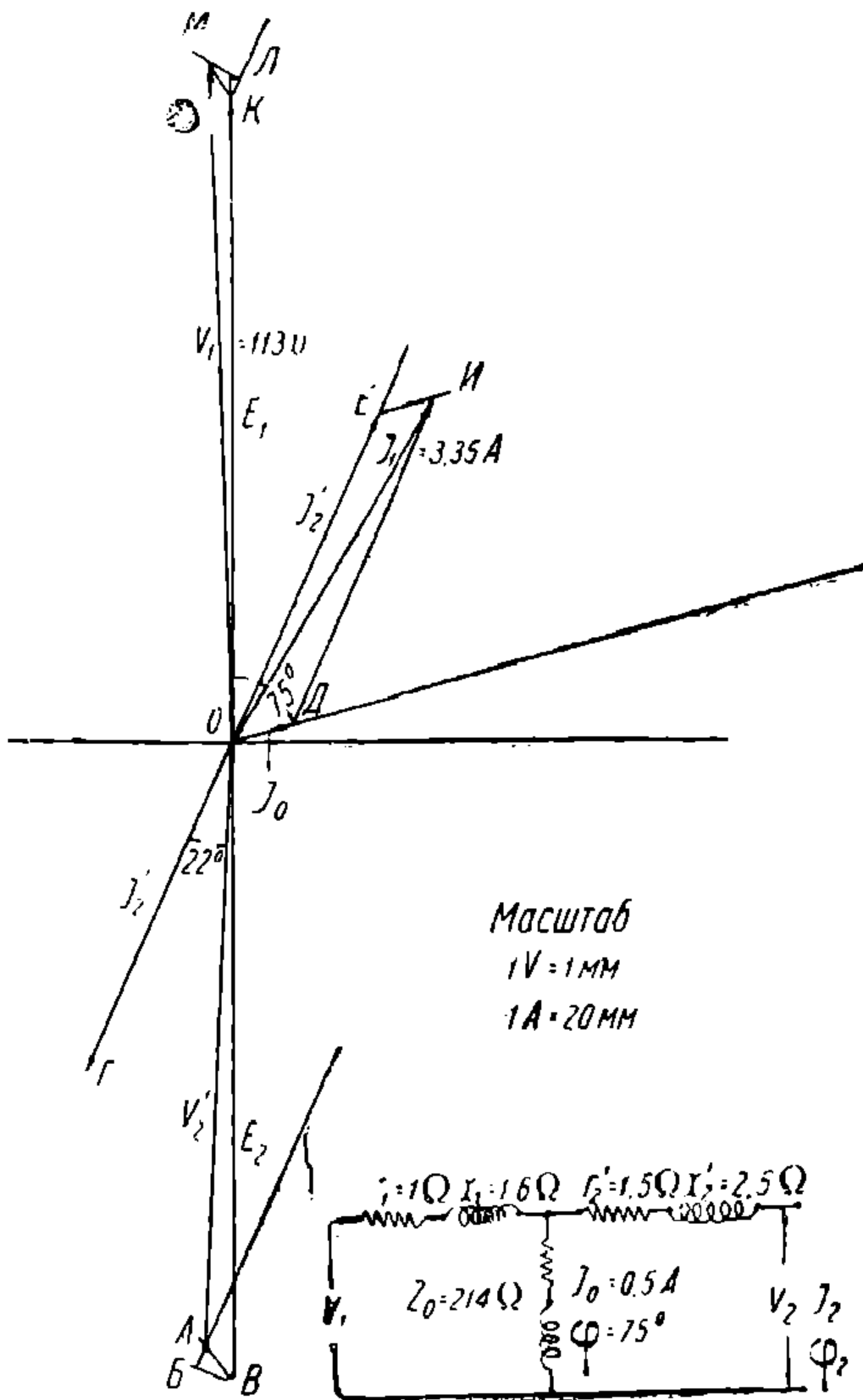


Рис. 60. Векторная диаграмма.

**Задача 64.** Определить падение напряжения для путевого трансформатора, приведенного в задаче 62, для нагрузки вторичной об

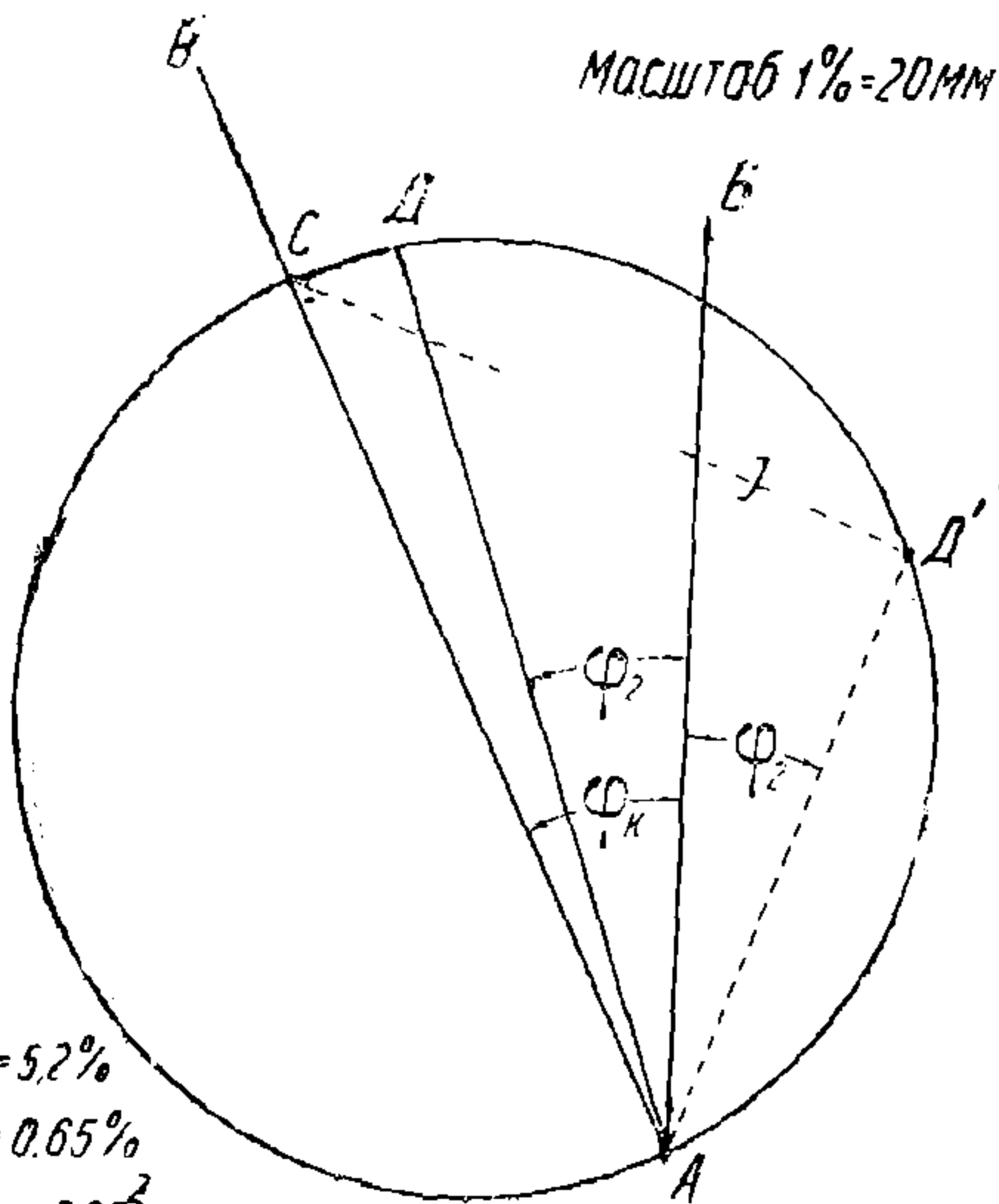


мотки с  $\varphi_2 = +20^\circ$  и  $-20^\circ$ . Определение произвести построением треугольника относительного падения напряжения.

**Решение.** Для построения треугольника относительного падения напряжения проводим (рис. 61) линию  $AB$  — направления вектора тока; под углом  $\varphi_k = 28,5^\circ$  проводим линию  $AB$ , на которой откладываем отрезок

$$AC = \frac{V_k}{V_1} \cdot 100 = \frac{5,67}{110} \cdot 100 = 5,24\%$$

На отрезке  $AC$ , как на диаметре, строим окружность; проведя, далее линию  $AD$  под углом нагрузки  $\varphi_2 = +20^\circ$ , получаем треугольник  $ADC$  относительного падения напряжения при индуктивной нагрузке. Искомое относительное падение напряжения  $\Delta V_1$  будет равно:



$$AD = 104 = 5,2\%$$

$$CD = 13 = 0,65\%$$

$$\Delta V = +5,2\% + \frac{0,65^2}{200} = 5,2\%$$

Рис. 61. Треугольник падения напряжений.

$$\Delta V_1 = AD + \frac{CD^2}{200} = 5,2 + \frac{0,65^2}{200} \cong 5,2\%$$

При емкостной нагрузке ( $\varphi_2 = -20^\circ$ ) получим:

$$\Delta V_1 = AD' + \frac{CD'^2}{200} = 3,6 + \frac{3,85^2}{200} = 3,6 + \frac{14,8}{200} \cong 4,3\%$$

**Задача 65.** Найти силу тока  $I_e$  в конце рельсовой цепи на электрифицированном участке, если путевое реле, имеющее данные:  $V_p = 0,29$  В;  $I_p = 0,36$  А и  $\varphi_p = 37^\circ$ , включено параллельно с дросселем, имеющим  $Z_g = 0,42 \Omega$ ;  $\varphi_g = 75^\circ$  (рис. 62). Сопротивление соединительных проводников путевого реле с рельсами  $R_e = 0,1 \Omega$ .

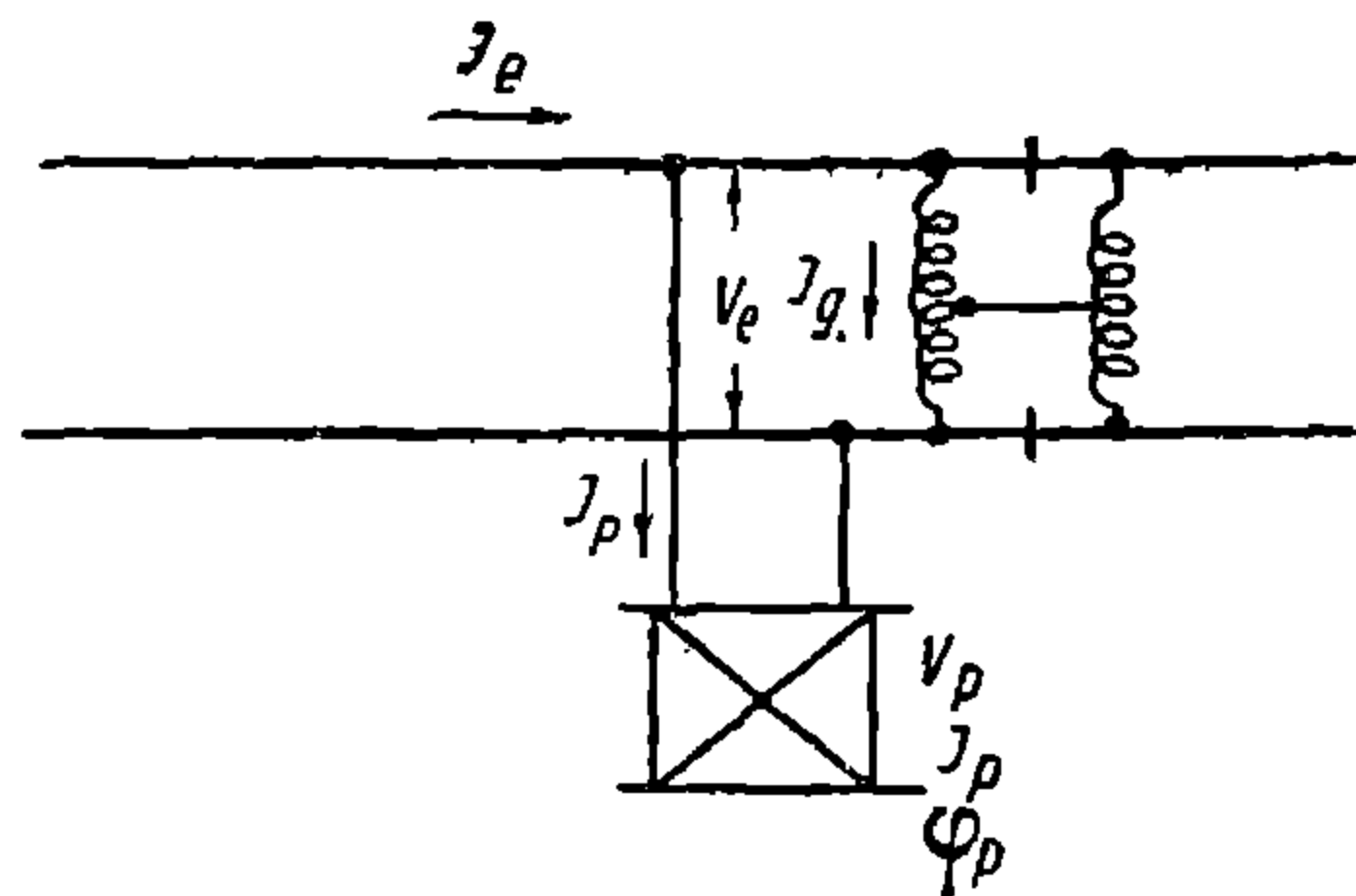


Рис. 62. Схема включения реле и дросселя.

**Решение** дать как для случая уравновешенных, так и неуравновешенных токов в рельсах, считая, что в последнем случае  $Z_g$  понижается на 10%.

**Решение.** Между электрическими величинами на релейном конце существуют соотношения:

$$\bar{I}_e = \bar{I}_p + \bar{I}_g$$

$V_e$  — напряжение рельсовой цепи на релейном конце будет складываться из:

$$\overline{V}_p + \overline{I}_p \cdot R_o = \overline{V}_e \quad (96)$$

Так как присоединение дросселя и путевого реле к рельсовой цепи практически осуществляется в одних и тех же точках, то  $V_e$  будет также напряжением на зажимах дросселя, т. е.

$$V_e = V_g.$$

Решение задачи произведем графически, приняв определенный масштаб (например  $0,01V — 1 \text{ мм}$ ,  $0,01A — 1 \text{ мм}$ ); за начальную фазу принимаем фазу тока  $I_p$ ; построив последний (рис. 63) под углом  $37^\circ$  к нему, откладываем  $V_p = 0,29V$ . Падение в соединитель-

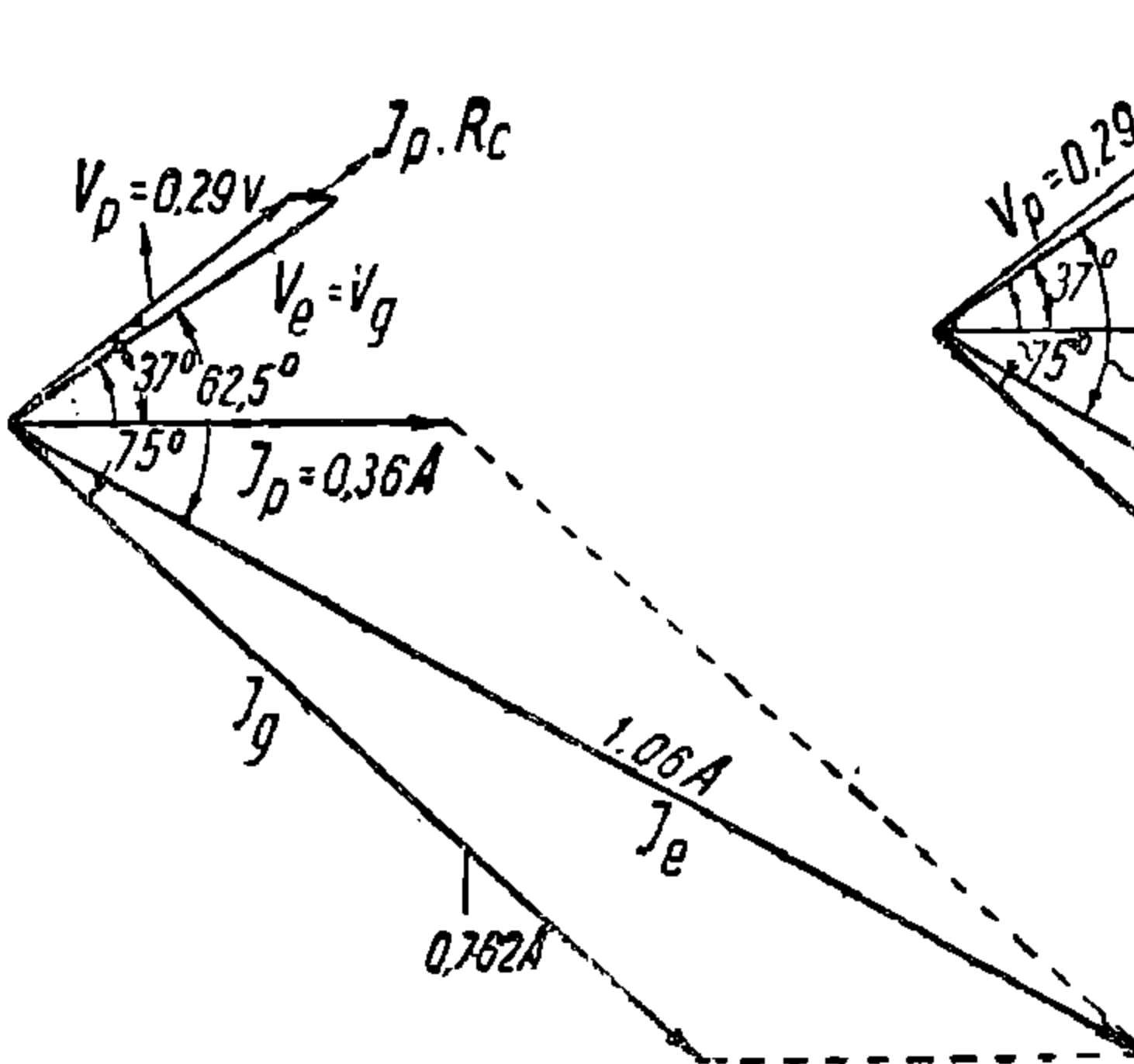


Рис. 63 Векторная диаграмма.

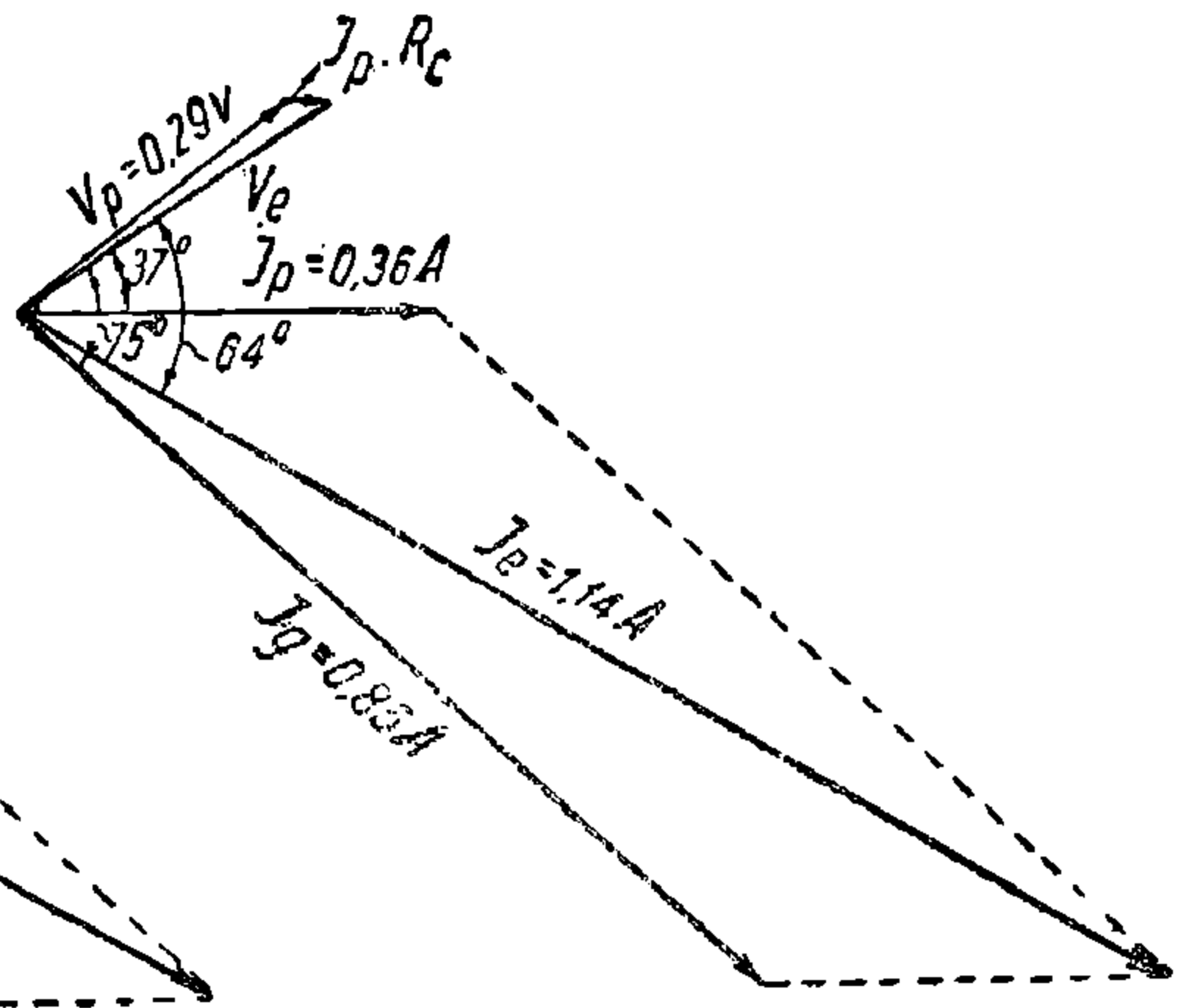


Рис. 64. Векторная диаграмма.

ных проводах, принимаемое чисто омическим, прибавляем к вектору  $V_p$  в виде вектора  $I_p \cdot R_o = 0,36 \cdot 0,1 = 0,036V$ , параллельного  $I_p$ . Замыкающий вектор будет равен  $V_e$ , т. е. напряжению на релейном конце; по масштабу  $V_e$  получилось равным  $0,32V$ . Зная  $V_e$ , находим  $I_g$ ; он равен:

$$I_g = \frac{V_e}{Z_g} = \frac{0,32}{0,42} \approx 0,762 \text{ А.}$$

Так как фазный угол дросселя  $\varphi_g = 75^\circ$ , то вектор  $I_g$  строим отстающим от  $V_e$  на угол  $75^\circ$ .

Далее на векторах  $I_p$  и  $I_g$  строим параллелограмм и находим искомый ток  $I_e$ , как диагональ построенного параллелограмма; он равен  $1,06 \text{ А}$  и отстает от  $V_e$  на  $62,5^\circ$ .

Найденная сила тока  $I_g$  была бы достаточной для бесперебойной работы путевого реле, при условии, что обратные тяговые токи в обеих нитках рельсовой цепи уравновешены (т. е. равны). Учитывая же возможную неравномерность токов, вызывающую уменьшение сопротивления дросселя до 10%, для последнего случая строим (рис. 64) другой график, считая  $Z$  дросселя не  $0,42 \Omega$ , а  $0,42 \cdot 0,9 = 0,378 \Omega$ .

При этом  $Z_g$  ток в дросселе

$$I_g = \frac{0,32}{0,378} = 0,85 \text{ A};$$

по рис. 64  $I_e$  получился равным  $1,14 \text{ A}$  и  $\varphi_e = 64^\circ$ ,

Таким образом при неуровновешенности токов в рельсах ток возрастает.

**Задача 66.** На релейном конце рельсовой цепи подключены параллельно: а) реле с данными  $I_p = 0,45 \text{ A}$ ;  $V_p = 1 \text{ V}$  и  $\varphi_p = 49^\circ$  и б) дроссель с данными  $Z_g = 0,7 \Omega$  и  $\varphi_g = 80^\circ$ .

Найти, какой ток  $I_e$  при неуровновешенности тяговых токов, понижающих сопротивление дросселя на 10%, должен доставляться по рельсовой цепи на релейный конец для обеспечения нормальной работы путевого реле и каков его фазный угол. Решение провести графическим и аналитическим способами, сравнив полученные результаты.  $R_e$  принимается равным  $0,1 \Omega$ .

**Решение.** Графическое решение проводится аналогично с решением предыдущей задачи (рисунок 65). В результате получаем:

$$V_e = 1,035 \text{ V}; \quad I_e = 2,05 \text{ A}; \quad \varphi_e = 73^\circ.$$

Аналитически решение по формулам электротехники проводится в следующем порядке:

1) Падение напряжения в соединительных проводах:

$$V_e = 0,45 \cdot 0,1 = 0,045 \text{ V}.$$

2) Напряжение на релейном конце рельсовой цепи  $\bar{V}_e = \bar{V}_p + \bar{V}_c$ ;

$$\begin{aligned} \bar{V}_e &= \sqrt{(V_p \cdot \cos \varphi_p + V_c)^2 + (V_p \sin \varphi_p)^2} = \\ &= \sqrt{(1 \cdot 0,656 + 0,045)^2 + (1 \cdot 0,755)^2} = 1,03 \text{ V}. \end{aligned}$$

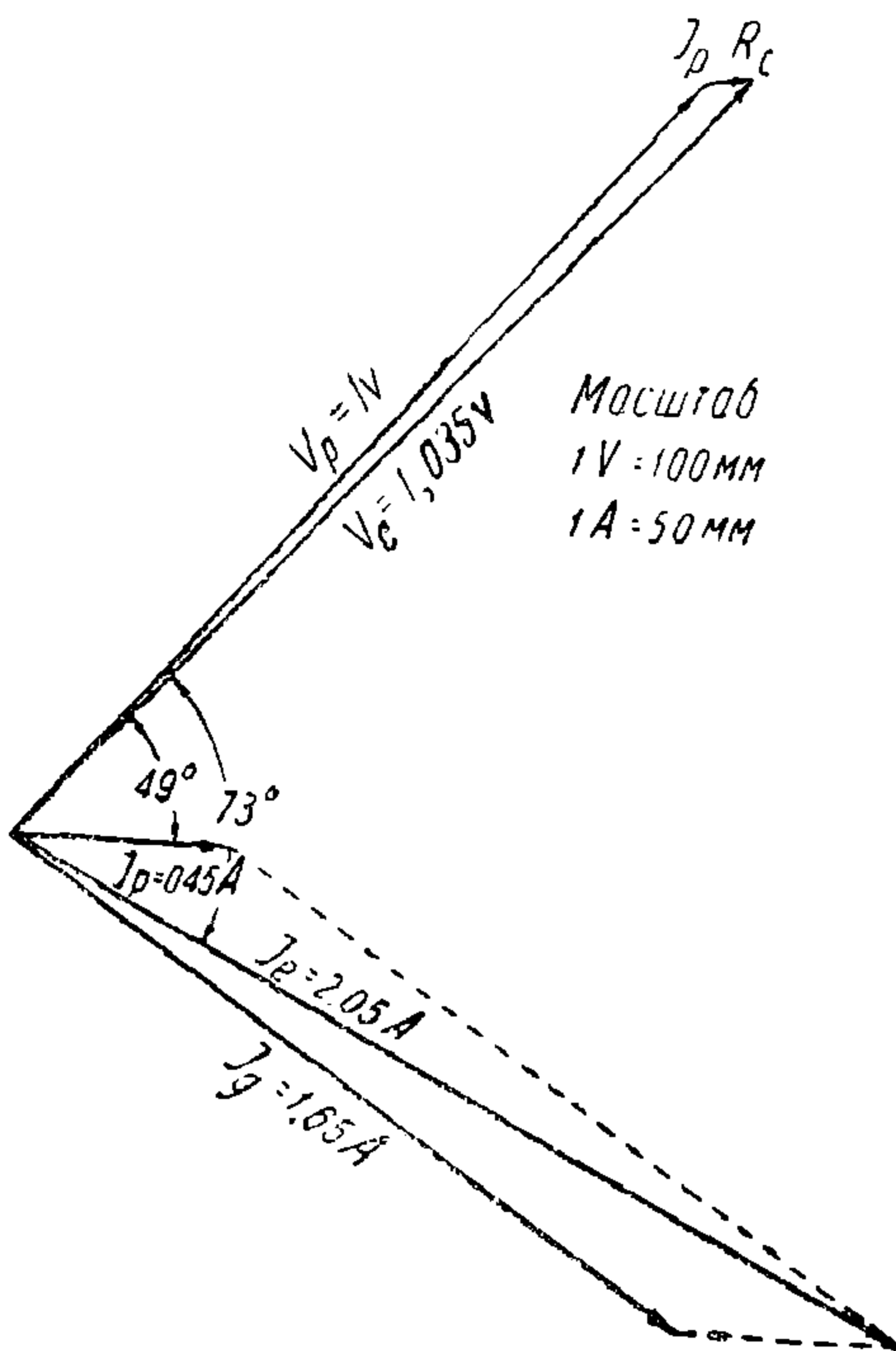


Рис. 65. Векторная диаграмма.

3) Так как сопротивление дросселя при неуравновешенности тяговых токов будет:

$$Z_g' = Z_g \cdot 0,9 = 0,7 \cdot 0,9 = 0,63 \Omega,$$

то ток в дросселе получится равным

$$I_g = \frac{V_e}{Z_g'} = \frac{1,03}{0,63} = 1,635 \text{ A.}$$

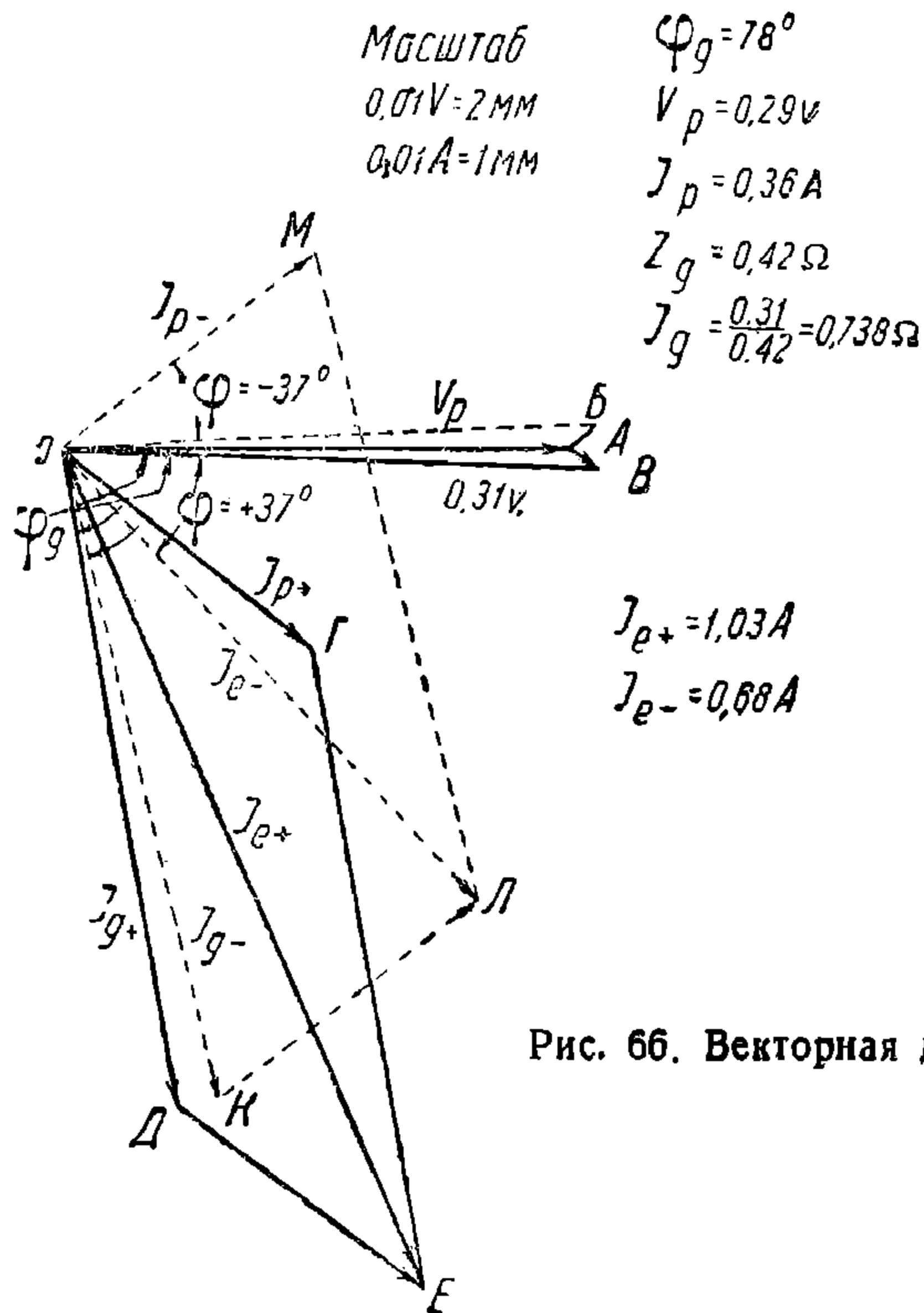


Рис. 66. Векторная диаграмма.

4) Угол сдвига между  $I_p$  и  $V_e$  будет равен:

$$\varphi_p' = \arctg \frac{V_p \cdot \sin \varphi}{V_p \cdot \cos \varphi_p + V_c} = \arctg \frac{0,755}{0,701} = \arctg 1,077 = 47^\circ.$$

5) Угол между  $I_p$  и  $I_g$  равен разности углов:

$$\varphi_s = 80^\circ - 47^\circ = 33^\circ.$$

6) Сила тока на релейном конце рельсовой цепи  $\bar{I}_e = \bar{I}_g + \bar{I}_p$ .

$$\begin{aligned} I_e &= \sqrt{(I_g \cdot \cos \varphi_s + I_p)^2 + (I_g \cdot \sin \varphi_s)^2} = \\ &= \sqrt{(1,635 \cdot 0,839 + 0,45)^2 + (1,635 \cdot 0,545)^2} = 2,02 \text{ A.} \end{aligned}$$

7) Фазный угол между  $I_e$  и  $I_p$

$$\varphi_o = \arctg \frac{I_g \cdot \sin \varphi_g}{I_g \cdot \cos \varphi_g + I_p} = \arctg 0,488 = 26^\circ.$$

8) Сдвиг между  $I_e$  и  $V_e$

$$\varphi_o = \varphi_p + \varphi_g = 47^\circ + 26^\circ = 73^\circ.$$

Сравнивая результаты графического и аналитического решений задачи, видим, что расхождение получается в незначительных пределах (порядка сотых долей  $A$  и  $V$ ).

Таким образом для практических целей целесообразно пользоваться более легким графическим методом решения подобных задач.

**Задача 67.** На релейном конце подключены к рельсам реле с данными  $V_p = 0,29 V$  и  $I_p = 0,36 A$  и стыковой дроссель сопротивлением  $Z_g = 0,42 \Omega$  с фазным углом  $\varphi_g = 78^\circ$ .

Определить, какой ток должен доставляться по рельсовой цепи на релейный конец для обеспечения нормальной работы, если в одном случае фазный угол реле будет отстающим, а в другом случае — опережающим на  $37^\circ$ .

*Решение.* Задачу решаем графически, строя последовательно параллелограммы токов (рис. 66):

ОДЕГ для случая  $\varphi_p = +37^\circ$  и

ОКЛМ для случая  $\varphi_p = -37^\circ$ .

В первом случае по рельсовой цепи должен для обеспечения работы реле подаваться ток  $I_{e+} = OE = 1,03 A$ , а во втором случае ток  $I_{e-} = OL = 0,68 A$ .

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что придание реле опережающего фазного угла (как это имеет место в реле типа ДСР-I с двумя конденсаторами) выгодно влияет на величину тока на релейном конце, потребного для работы реле.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулебакин. Электрическая аппаратура. Том I, стр. 15—33. Гос. энергетическое издательство, 1932 г.
2. Круг. Основы электротехники, Том II, стр. 270—274, 277—290. Госэнергоиздат, 1932.
3. Вахнин. Автоматическая блокировка. Энергоиздат, 1933.
4. Вахнин. Теория рельсовых цепей и их устройство. Трансжелдориздат, 1934.
5. Пономаренко. Рельсовые цепи переменного тока. Трансжелдориздат, 1934.
6. Холуянов. Трансформаторы однофазного и трехфазного тока. Энергоиздат 1934, стр. 103—105.
7. Токов. Электромеханика. Изд. Кубуч, 1927, стр. 75—77.

## IX РАСЧЕТЫ ПО РЕЛЕ

Расчеты по реле, составляющие тему этого отдела, касаются подсчетов отдельных элементов реле (пружин, катушек, характеристик и т. д.) с целью более четкого выявления характера работы реле, не касаясь его полного расчета.

Для расчетов, кроме общеизвестных формул электротехники, используются следующие специальные формулы:

1. По расчету прогиба пружин:

$$y = 4 \cdot \frac{l^3 \cdot P}{bh^3 \cdot E}, \quad (97)$$

где:

$y$  — прогиб пружины в мм;  
 $P$  — нагрузка ее в килограммах;  
 $l$  — плечо нагрузки в мм;  
 $b$  и  $h$  — ширина и толщина пружин;  
 $E$  — модуль упругости материала пружины, равный для фосфористой бронзы 11 000 кг/мм<sup>2</sup> и для нейзильбера  $\cong$  12 000 кг/мм<sup>2</sup>.

2. Для силы притяжения реле.

$$F = C \cdot \frac{I_n^2}{\delta^2} \quad (\text{приближенно}), \quad (98)$$

где:

$C$  — коэффициент пропорциональности;  
 $I_n$  — сила тока в катушках реле;  
 $\delta$  — величина воздушного зазора в нем;  
при  $I_n = \text{const}$

$$F = \frac{C_1}{\delta^2}. \quad (99)$$

3. Для вращающего момента двухэлементного секторного реле.

$$M = C \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \alpha, \quad (100)$$

где:

$C$  — коэффициент пропорциональности;  
 $I_1$  и  $I_2$  — токи в обмотках реле;  
 $\alpha$  — фазный угол между этими токами; для случая отклонения на  $\beta$  градусов получившегося фазного угла  $\alpha$  от наиболее

благоприятного  $\alpha_{\max}$ , при котором получается максимальный вращающий момент  $M_{\max}$ , имеется следующее соотношение между моментом  $M$  при угле  $\alpha$  и  $M_{\max}$ .

$$M = M_{\max} \cdot \sin(\alpha - \beta), \quad (101)$$

так как обычно  $\alpha_{\max} = 90^\circ$ , то формула (101) может быть переписана в другом виде:

$$M = M_{\max} \cdot \sin(90^\circ - \beta) = M_{\max} \cdot \cos \beta. \quad (102)$$

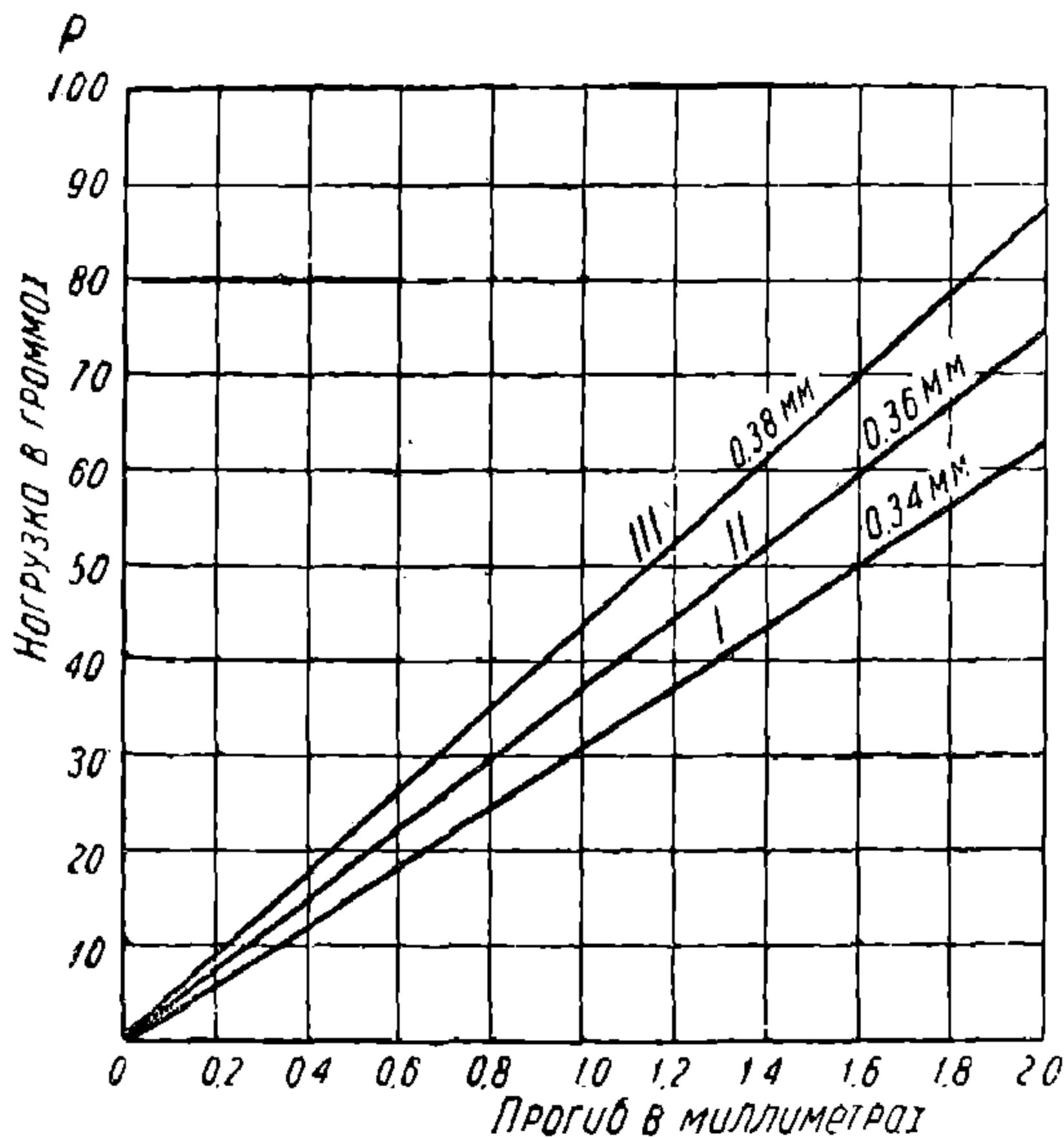
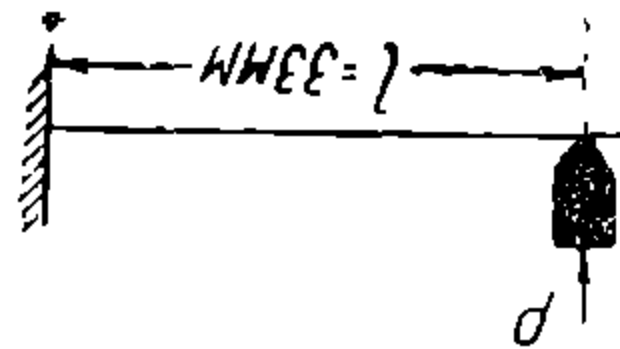


Рис. 67. Эскиз нагрузки пружины и ее характеристика

Сверх приведенных формул при решении задач используются некоторые экспериментальные кривые, приводимые в соответствующих задачах.

**Задача 68.** При испытании реле типа НР-1 найдены магнитные потоки:

	В якоре $\Phi_a$	В ярме $\Phi_n$
При прям. притяжении	9850	10910
При полн. притяжении	13900	14550

Определить коэффициент рассеяния магнитной системы реле при прямом и полном притяжении.

**Решение.** Обозначая через  $\sigma$  коэффициент рассеяния, будем иметь следующую зависимость магнитных потоков в ярме и якоре:

$$\Phi_n = \sigma \cdot \Phi_a$$

или

$$\sigma = \frac{\Phi_n}{\Phi_a}$$

Определяя по данным задания, получаем:

$$\sigma \text{ при прямом притяжении} = \frac{10910}{9850} = 1,11,$$

$$\sigma \text{ при полном притяжении} = \frac{14550}{13900} = 1,05.$$

Увеличение  $\sigma$  при прямом притяжении объясняется наличием в последнем случае большего воздушного зазора.

**Задача 69.** Построить механическую характеристику (т. е. зависимость прогиба  $y$  пружины от нагрузки ее  $P$ ) контактных пружин реле НР-1, толщиной  $h = 0,34$  мм;  $0,36$  мм и  $0,38$  мм, имеющих ширину  $b = 9,5$  мм. Эскиз нагрузки пружин показан на рис. 67.

**Решение.** Прогиб плоской пружины, закрепленной одним концом и нагруженной на другом конце, определится из уравнения (97), из этого уравнения видно, что  $y = f(P)$  будет выражаться прямой линией, поэтому для построения характеристики заданных пружин достаточно для каждой найти по одной точке. Полагая предельное значение  $y = 2$  мм и подставляя в правую часть приведенного уравнения данные величины  $l$ ,  $b$ ,  $h$  и  $E$ , определяем нагрузку  $P$ , требующуюся для создания прогиба в 2 мм; таким образом после преобразования получаем:

$$P_1 \text{ (при } h = 0,34 \text{ мм)} = \frac{y \cdot b \cdot h^3 \cdot E}{4 \cdot l^3} =$$

$$= \frac{2 \cdot 9,5 \cdot 0,34^3 \cdot 12000}{4 \cdot 33^3} =$$

$$= 0,0625 \text{ кг или } 62,5 \text{ г;}$$

$$P_2 \text{ (при } h = 0,36 \text{ мм)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 9,5 \cdot 0,36^3 \cdot 12000}{4 \cdot 33^3} = 74 \text{ г}$$

и

$$P_3 \text{ (при } h = 0,38 \text{ мм)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 9,5 \cdot 0,38^3 \cdot 12000}{4 \cdot 33^3} =$$

$$= 87 \text{ г.}$$

Отложив по ординате при  $y = 2$  (рис. 67) найденные величины  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  и соединив полученные точки с началом координат, получим три требуемых механических характеристики пружин в виде прямых I, II и III.

**Задача 70.** При испытании реле НР-1 найдена зависимость величины тока полного притяжения  $I_n$  и тока отпадания  $I_0$  от нажатия контактных пружин  $P$ , приведенная на рис. 68. Подобное же реле НР-1 с пружинами, имеющими характеристику II (рис. 67), было поставлено в работу с нажатием контактов в 55 г; после длительной работы верхние угольные контакты у реле обгорели и износились на 0,2 мм; определить, на сколько изменятся вследствие указанного обгорания контактов величины токов  $I_n$  и  $I_0$  в данном реле.

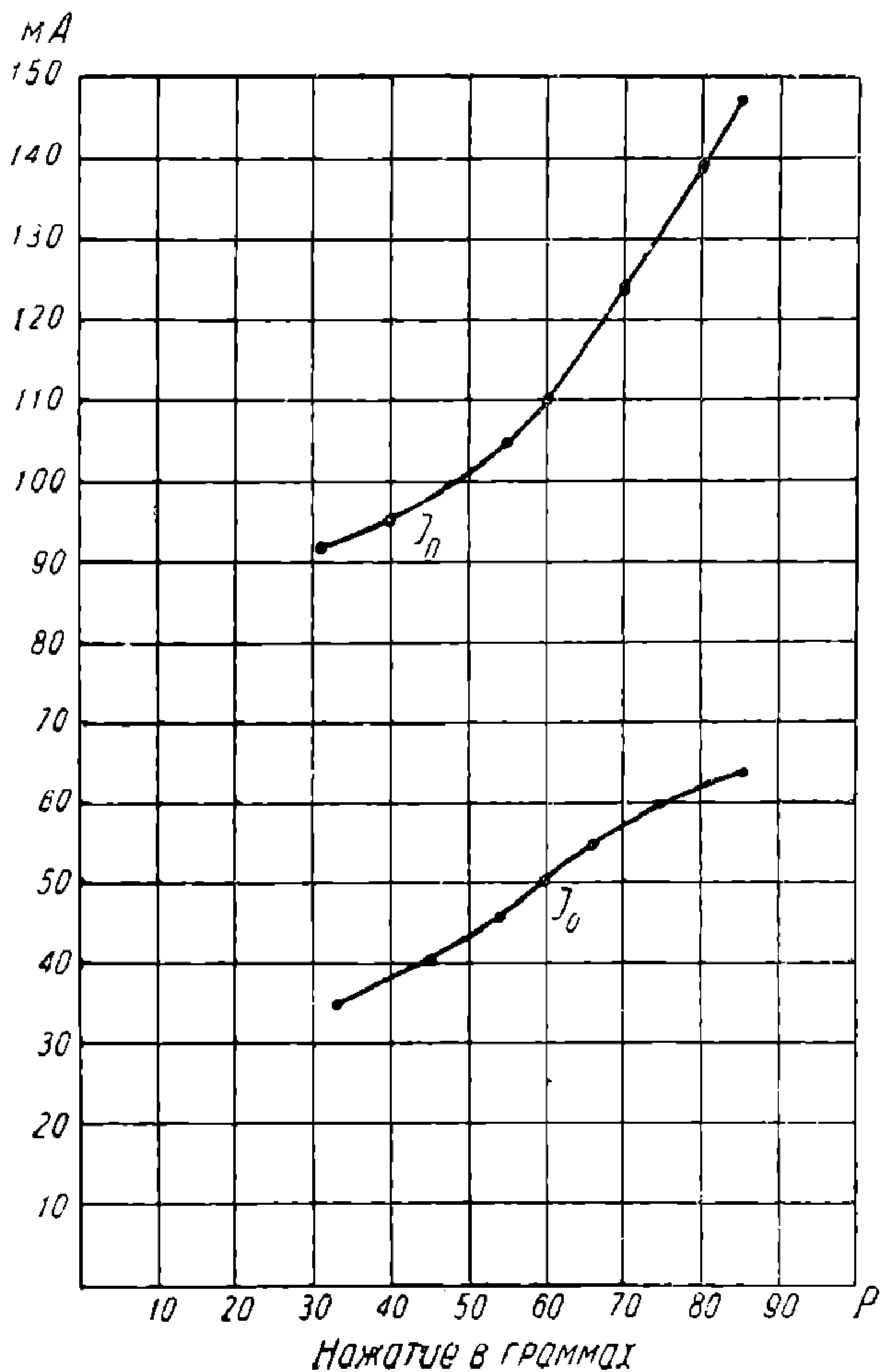


Рис. 68. Кривые  $I = f(P)$ .



**Решение.** Износ углей в реле на 0,2 мм ведет к уменьшению прогиба контактной пружины при притянутаом якоре, а, следовательно, и к уменьшению нажатия контактов. Так как реле было установлено с нажатием в 55 г, то по характеристике II (рис. 67) это давление вызывало прогиб пружинки на 1,48 мм; после работы этот прогиб уменьшился на 0,2 мм, т. е. стал равен  $y_1 = 1,28$  мм. Прогибу  $y_1 = 1,28$  мм будет соответствовать нагрузка (нажатие)  $P = 47$  г.

Обращаясь к рис. 68, мы видим, что первоначальному нажатию в 55 г соответствовали величины  $I_n = 105$  мА и  $I_0 = 47$  мА; при новом же нажатии  $P = 47$  г будем иметь  $I_n = 99$  мА и  $I_0 = 41$  мА.

Отношение  $\frac{I_0}{I_n}$  в первом случае равно 44,75%, во втором случае—41,5%. По полученным результатам видим, что изнашивание контактного угля повело к качественному понижению характеристик реле.

**Задача 71.** При ремонте реле НР—1 в нем заменили контактную пружину, поставив ее толщиной в 0,38 мм вместо ранее стоявшей толщиной в 0,36 мм (механические характеристики см. рис. 67). Определить, как это отразится на величинах  $I_n$  и  $I_0$  реле, если прогиб пружины при притяжении остался прежним (т. е. 1,48 мм).

**Решение.** Так как прогиб остался прежним, то при новой пружинке для достижения указанного прогиба по характеристике III (рис. 67) потребуется нагрузка (нажатие)  $P = 64$  г. При этой нагрузке на контакты, по кривым рис. 68, реле будет иметь:  $I_n = 115$  мА,  $I_0 = 54$  мА и отношение  $\frac{I_0}{I_n} = 47\%$ ; новые характеристики по току отпадания и процентному отношению лучше; по величине  $I_n$ —немного хуже бывших ( $I_n = 105$  мА,  $I_0 = 47$  мА и  $\frac{I_0}{I_n} = 44,75\%$ ). Увеличение  $I_n$  следует учесть при регулировке свободного состояния цепи, в которой реле будет работать.

**Задача 72.** Дано 4-контактное реле типа НР—1 с контактными пружинами, имеющими механическую характеристику I (рис. 67). Реле имеет следующие данные: минимальный воздушный зазор по оси полюсов  $\delta_{min} = 0,4$  мм; свободный перелет контактной пружины  $a = 1,6$  мм; вес якоря 240 г; давление контактов 56 г; отношение плеч действия сил нажатия контактов и электромагнитного притяжения (по оси сердечников—рис. 69)  $\frac{R}{r} = 4$ ; токовые характеристики соответствуют кривым рис. 68.

Построить механическую и электромеханическую (приближенную) характеристики реле, принимая, что разные механические потери в реле составляют 10%.

**Решение.** Для построения механической характеристики реле определим: а) составные части полного хода якоря и б) усилия, преодолеваемые при движении якоря в разных точках хода его. Полный ход якоря будет складываться:

а) из хода  $\delta_0$  для выравнивания пружины, лежащей на нижнем контакте и изгибаемой нагрузкой, равной весу якоря;

б) из хода  $\delta_0$ , соответствующего свободному перелету контактов, и

в) из хода  $\delta_n$ , соответствующего прогибу пружинки в верхнем положении якоря для создания нажатия контактов.

Прогибы пружинок и их ходы, происходящие на плече радиуса  $R$ , надо относить на плечо радиуса  $r$  к оси сердечника, в направлении которой происходит действие сил электрического притяжения.

Прогибы пружинок определяем по характеристике I (рис. 67). В отпавшем состоянии вес якоря  $Q$  распределяется на 4 пружины и следовательно на каждую пружину приходится  $\frac{240}{4} = 60$  г; относя эту нагрузку, приложенную в центре тяжести якоря (приблизительно по оси сердечника) к точке  $K$  — приложения нагрузки на пружину, получим нагрузку:

$$P_x = \frac{60 \cdot r}{R} = 15 \text{ г.}$$

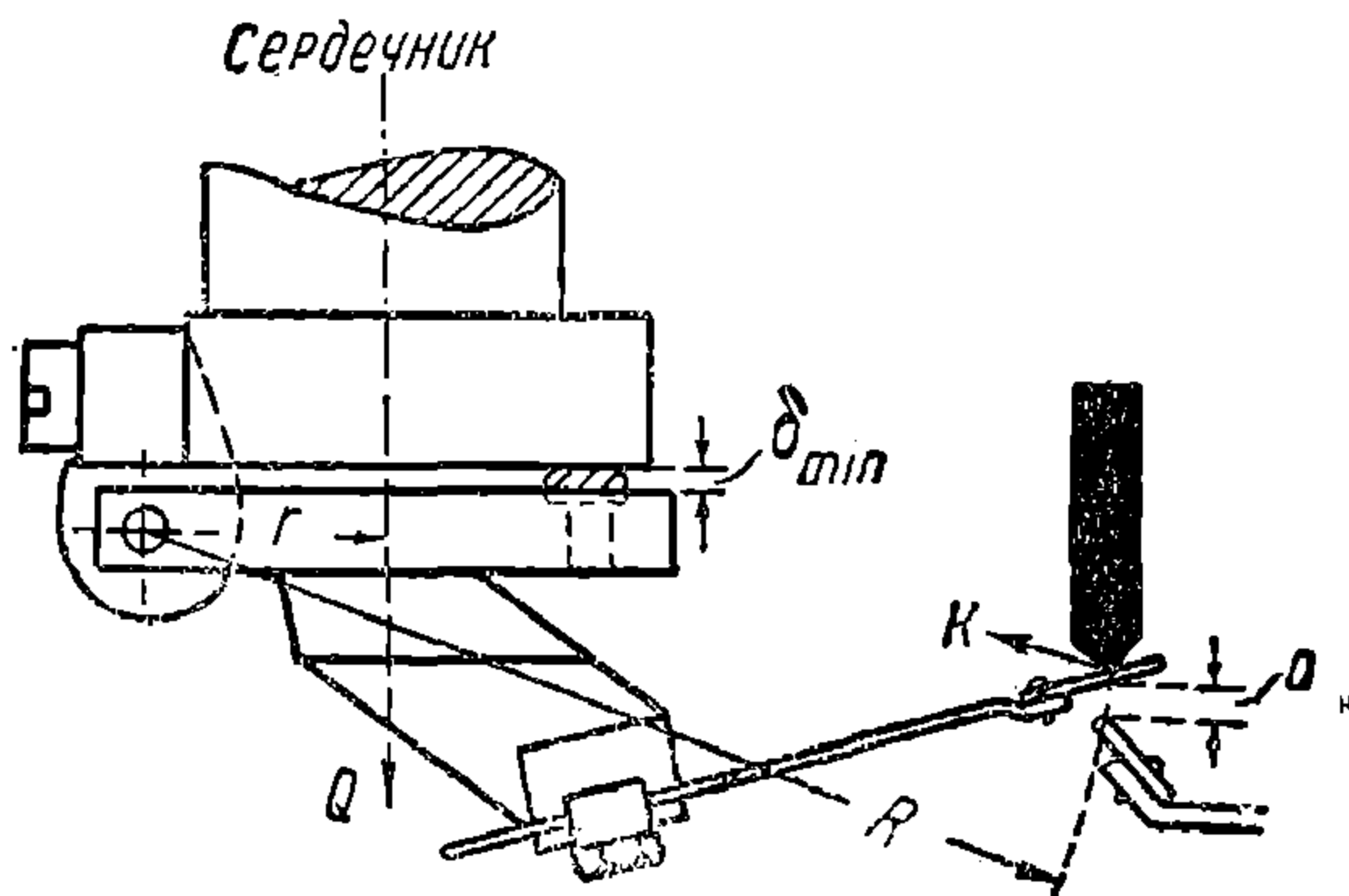


Рис. 69. Контактная система реле

Под влиянием силы  $P_x$  пружинка по характеристике I прогнется на  $y_0 = 0,46$  мм. При притяннутом якоре каждая пружинка будет изгибаться силой, равной нажатию контактов (56 г), и прогнется по характеристике I на  $y_n = 1,8$  мм. Относя прогибы пружинок ( $y_0$  и  $y_n$ ) и свободный перелет их ( $a = 1,6$  мм) к оси сердечника, получим соответствующие элементы хода якоря,

$$\delta_0 = \frac{y_0 \cdot r}{R} = \frac{0,46}{4} = 0,115 \text{ мм.}$$

$$\delta_n = \frac{y_n \cdot r}{R} = \frac{1,8}{4} = 0,45 \text{ мм.}$$

$$\delta_a = \frac{a \cdot r}{R} = \frac{1,6}{4} = 0,4 \text{ мм.}$$

Силы, которые надо преодолевать в разных точках хода якоря: будут следующие:

а) в отпавшем состоянии вес якоря будет уравновешен реакцией изогнутой пружины и, следовательно,  $P_0 = 0$ ;

б) в подтянутом положении якоря, близко к отрыву от нижнего контакта, движению (не учитывая трения, сил инерции и пр.) будет противодействовать сила  $P_1$ , равная весу якоря;

в) во все время свободного перелета якоря останется та же противодействующая сила  $P_1$ ;

г) в притянutom положении якоря (при зазоре  $\delta_{\min} = 0,4$  мм) к силе  $P_1$  прибавится еще противодействие упругости изогнутых пружин  $P_2$ ; величина  $P_2$  будет равна нажатию пружины (56 г), умноженному на число их и на отношение плеч  $\frac{R}{r}$ , т. е.

$$P_2 = 56 \cdot 4 \cdot \frac{R}{r} = 56 \cdot 4 \cdot 4 = 896 \text{ г.}$$

Общая сумма противодействующих сил равна:

$$P_1 + P_2 = 240 + 896 \text{ г} = 1136 \text{ г.}$$

Теперь, имея элементы хода якоря и противодействующие в каждой точке силы, можем построить механическую характеристику реле; на оси абсцисс (рис. 70) последовательно откладываем отрезки:

$$\delta_{\min} = ОИ = 0,4 \text{ мм}; \quad \delta_n = ИЕ = 0,45 \text{ мм}; \quad \delta_a = ЕД = 0,4 \text{ мм} \text{ и} \\ \delta_0 = ДГ = 0,115 \text{ мм.}$$

Как уже было разобрано, при лежащем на нижнем контакте якоре сила противодействия  $P_0 = 0$  (точка Г); при перелете якоря (точки Д и Е или соответственно В и Б) сила противодействия будет  $P_1 = 240$  г; и при притянutom якоре (точка И или соответственно А) сила противодействия будет  $P_1 + P_2 = 1136$  г. Имея абсциссы и ординаты для положения якоря в отпавшем состоянии, при свободном перелете и при притянutom якоре, отмечаем соответствующие точки механической характеристики реле (Г, В, Б и А); соединив указанные точки, получаем механическую характеристику реле в виде ломаной линии АБВГ.

Для построения приближенной электромеханической характеристики рассуждаем так: для притяжения якоря надо, чтобы силы электромагнитного притяжения преодолели силы противодействия и силы прочих потерь; только в таком случае якорь совершит перелет и, притянувшись, создаст необходимое давление на контактах. Для надежного действия в точке В механической характеристики действие электромагнитного притяжения должно преодолеть вес якоря (ордината ВД) + потери, равные по заданию 10% и выражаемые отрезком ВВ'; следовательно, при воздушном зазоре  $ОД = \delta_1$  сила электромагнитного притяжения реле должна быть не менее ординаты ДВ' = 265 г. Считая точку В' одной из точек электромагнитной характеристики, мы можем приближенно построить ее, пользуясь уравнением (99):

$$F_1 = \frac{C_1}{\delta_1^2} \text{ (при токе в реле } I_n = \text{const).}$$

Беря ряд цифр, соответствующих разным токам воздушного зазора (например 1,5 — 1,0 — 0,8 мм и т. д.), мы для этих точек зазора находим соответствующие значения  $F_x$  из пропорции:

$$F_1 : F_x = \delta_x^2 : \delta_1^2,$$

где  $F_1$  и  $\delta_1$ —сила и зазор для точки  $B$ , а  $F_x$  и  $\delta_x$ —то же для взятой произвольной точки.

Подобным образом построена приближенная электромеханическая характеристика в виде кривой  $KBL$ .

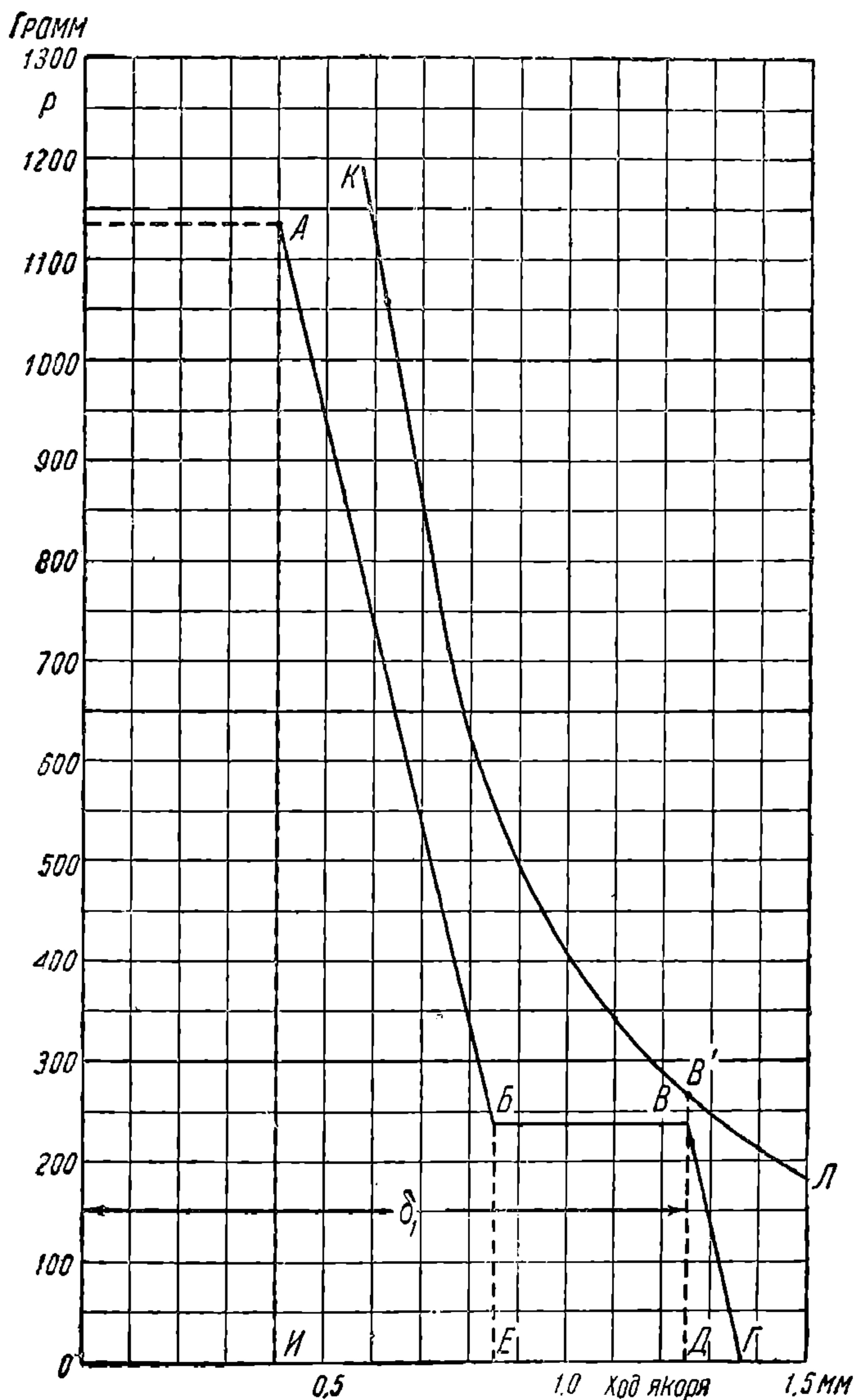


Рис. 70 Характеристика реле

Так как все точки кривой лежат выше механической характеристики, то действие реле должно быть обеспечено.

В виду трудностей в построении электромеханической характеристики реле аналитическим путем обычно эти характеристики для каждого типа реле получают экспериментально.

**Задача 73.** Для получения более быстрой работы путевых реле, что особенно важно для рельсовых цепей сортировочных горок, целесообразно иметь сопротивление путевого реле порядка 10—15  $\Omega$ . Имея габариты катушек 2-омного реле типа НР—I (рис. 71), подсчитайте, какую проволоку и сколько витков надо взять для получения сопротивления реле  $R_p = 12 \Omega$ , считая, что число ампер витков у 12-омного реле должно сохраниться то же, что и у двухомного. (Последнее имеет рабочий ток  $I_p = 0,105 \text{ А}$  и на каждой катушке по 725 витков). Определите также, каково будет напряжение полного притяжения для такого 12-омного реле.

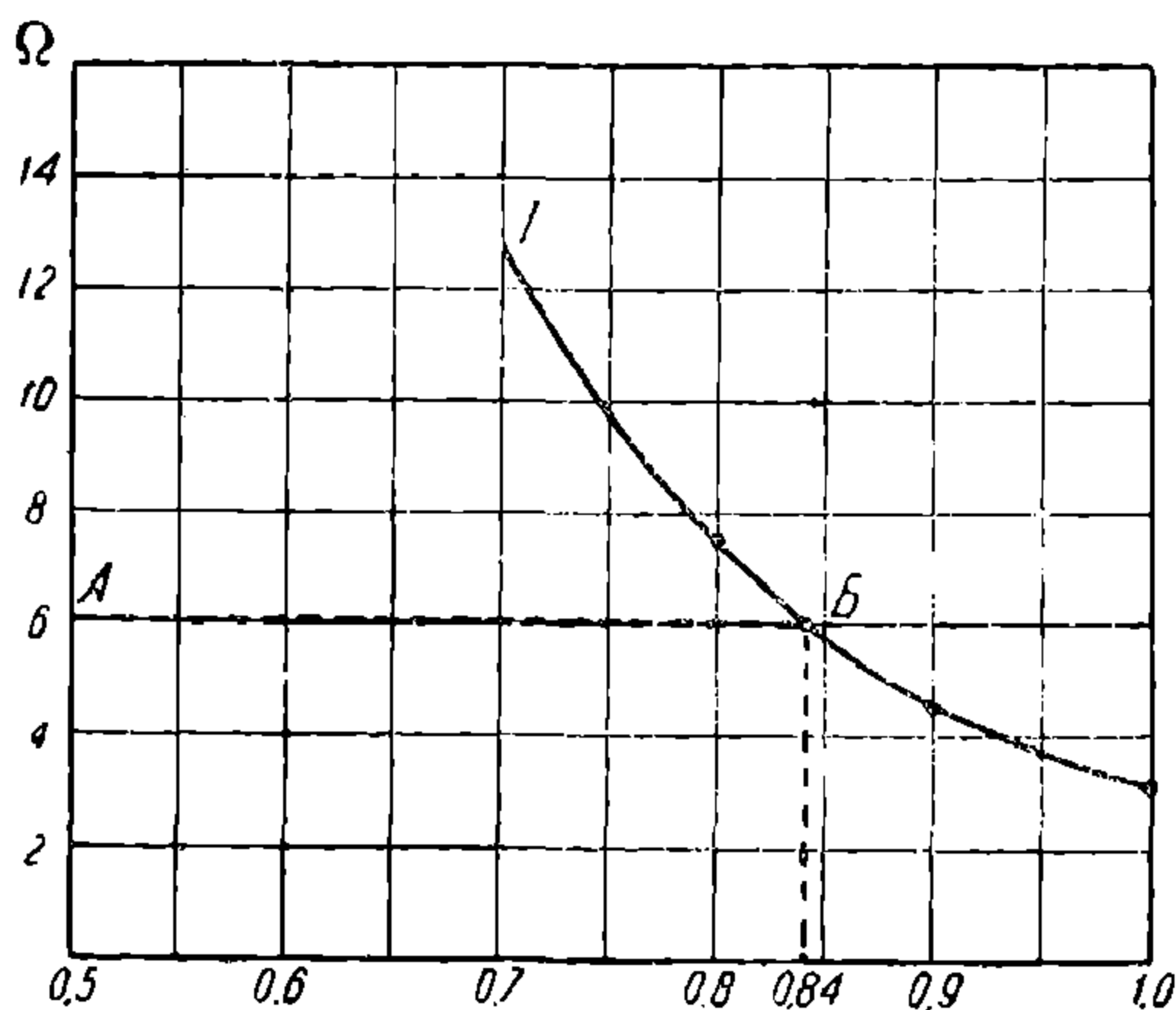
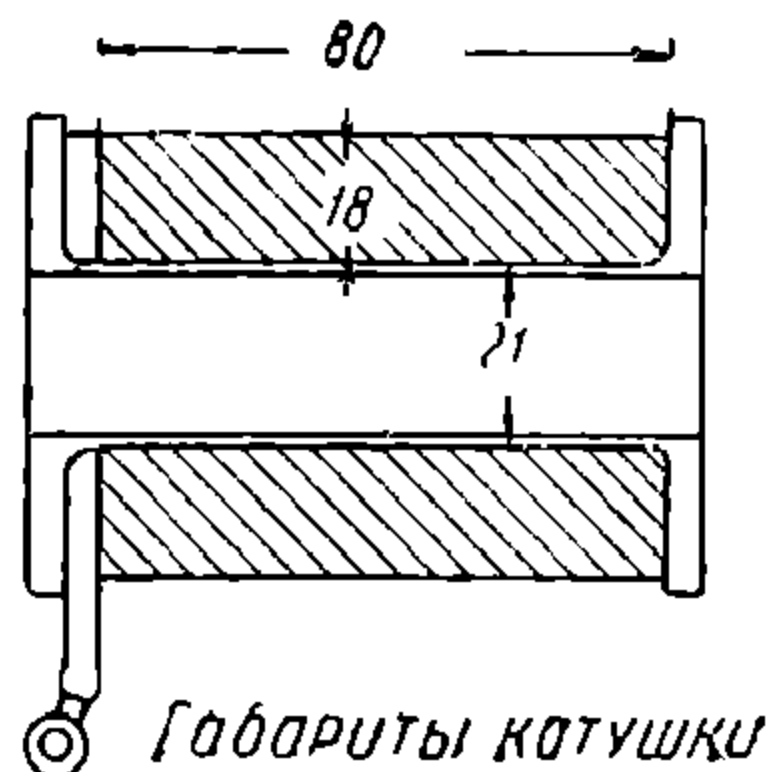


Рис. 71. Габариты катушек и кривая  $R_1=f(d)$

подсчитаем для нескольких ее размеров ( $d = 1,0 - 0,9 - 0,8 - 0,7 \text{ мм}$ ) количество могущих вписаться в окне витков и сопротивление их.

Найдя для выбранных размеров коэффициент заполнения  $K$ , площадь сечения  $q$  и сопротивление одного метра проволоки  $r$  (приложение VI), находим число могущих вписаться витков  $n$  и сопротивление  $R_1$  их по формулам:

$$n = \frac{Q_1 \cdot K}{q}$$

и

$$R_1 = n \cdot l_{cp} \cdot r,$$

где  $l_{cp}$  — длина среднего витка, равная  $0,039 \cdot \pi = 0,123 \text{ м}$ . Результаты указанных подсчетов приведены в следующей таблице:

на каждой катушке по 725 витков). Определите также, каково будет напряжение полного притяжения для такого 12-омного реле.

**Решение.** При сопротивлении реле  $R_p = 12 \Omega$ , сопротивление каждой катушки будет  $12/2 = 6 \Omega$ . Площадь  $Q$  окна катушки будет:

$$Q = 18 \cdot 80 = 1440 \text{ мм}^2.$$

Считая, что обмотка будет осуществлена эмалированной проволокой с прослойками пряжи, полагаем, что на последнюю пойдет 15% площади окна; тогда для обмотки остается площадь.

$$Q_1 = Q \cdot 0,85 = 1440 \cdot 0,85 = 1220 \text{ мм}^2.$$

Для подбора соответствующего заданному сопротивлению реле диаметра проволоки

$d$ провол. мм	$K$	$q$	$n$	$r$	$R_1$
0,7	0,7	0,3848	2 220	0,0463	12,6
0,8	0,71	0,5027	1 720	0,0355	7,53
0,9	0,765	0,6362	1 370	0,0261	4,41
1,0	0,72	0,7854	1 115	0,0227	3,11

Построив кривую  $R_1 = f(d)$  на рис. 71, мы, проведя линию  $AB$ , соответствующую требуемому нам сопротивлению в  $6 \Omega$  на катушку, до пересечения с кривой  $I$  в точке  $B$ , находим искомый диаметр проволоки равным  $0,84$  мм.

В виду того, что ходовым размером эмалированной проволоки является  $0,8$  мм, придется остановиться на нем. Чтобы получить сопротивление катушек в  $6 \Omega$ , надо будет взять число витков, не заполняющее полностью окна катушки, а именно:

$$n = \frac{R_1}{l_{cp} r} = \frac{6}{0,123 \cdot 0,0355} = 1350.$$

Ток, потребный для возбуждения, определяем из условия сохранения, у 12-омного реле тех же ампервитков  $Aw$ , что и у 2-омного; у последнего

$$Aw = 0,105 \cdot 2 \cdot 725 \cong 152.$$

Для 12 омного реле можем написать уравнение:

$$I_n \cdot 2 \cdot 1350 = 152,$$

откуда

$$I_n = \frac{152}{2 \cdot 1350} = 0,056 \text{ А.}$$

Рабочее напряжение реле будет:

$$12 \cdot 0,056 = 0,66 \text{ В.}$$

**Задача 74.** В путевом двухэлементном реле фазный угол между током  $I_n$  и напряжением  $V_n$  путевой обмотки получился при включении в рельсовую цепь равным  $23^\circ$ . Зная, что для благоприятного соотношения фаз в данном реле требуется угол между  $V_n$  и  $I_n$  в  $37^\circ$ , определить, насколько получившийся вращающий момент  $M$  будет меньше действующего при благоприятном соотношении фаз ( $M_{\max}$ ).

**Решение.** Получившийся сдвиг фаз  $V_n$  и  $I_n$  будет отличаться от благоприятного соотношения фаз на

$$\beta = 37 - 23 = 14^\circ.$$

Поэтому получившийся вращающий момент по уравнению (102) будет равен:

$$M = M_{\max} \cdot \cos 14^\circ = 0,97 M_{\max},$$

т. е. будет меньше максимального на  $3\%$ .

**Задача 75.** Конденсаторы емкостью  $C \cong 1,9 \text{ MF}$  подключаются в реле типа ДСР-I (модель 15) не непосредственно к клеммам путевой обмотки, а включаются в дополнительную обмотку, намотанную на тех же сердечниках. Подсчитать, какая емкость конденсаторов  $C_x$  потребовалась бы для получения того же эффекта, если бы конденсаторы подключались непосредственно к зажимам путевой обмотки. Число витков путевой обмотки  $n_1 = 13$  и число витков дополнительной обмотки  $n_2 = 1800$ .

*Решение.* Перенос конденсаторов непосредственно к клеммам путевой обмотки, при условии сохранения того же эффекта, аналогичен построению схемы замещения для трансформатора с отношением обмоток  $\frac{n_2}{n_1}$ .

При условии сохранения того же эффекта действия конденсаторов должно соблюдаться равенство энергии электрических полей в обоих случаях.

На основании сказанного можно написать:

$$\frac{C_x \cdot E_1^2}{2} = \frac{C \cdot E_2^2}{2},$$

так как

$$E_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot E_1,$$

то будем иметь:

$$\frac{C_x \cdot E_1^2}{2} = \frac{C \cdot E_1^2 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}{2}$$

или после сокращения:

$$C_x = C \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2.$$

Подставляя данные величины

$$C = 1,9 \text{ } \mu\text{F}, \quad n_1 = 13 \text{ и } n_2 = 1800,$$

находим:

$$C_x = 1,9 \cdot \left(\frac{1800}{13}\right)^2 = 1,9 \cdot 19200 = 36500 \text{ } \mu\text{F}$$

Полученное весьма высокое значение  $C_x$  показывает, что непосредственное подключение конденсаторов к клеммам путевой обмотки было бы практически неосуществимо и нерационально.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рихтер и Фосс. Детали изделий точной индустрии. Машметиздат, 1932, стр. 267—568.
2. Вахнин. Автоматическая блокировка. Энергоиздат, 1932, стр. 109—113 и 124—133.
3. Г. Г. Обмоточная проволока. Журнал „Сигнализация и связь на ж.-д. транспорте“, № 2, 1934, стр. 14.
4. Яссе. Электромагниты. Энергоиздат, 1934, стр. 148—149.
5. Левиен. Элементы расчета телефонного реле. Изд. Комиссии электротехн. учебн. комбината связи в Ленинграде, 1933. (Общее представление о ходе расчета).

## Х РАСЧЕТЫ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Обозначения величин, применяемых при расчетах рельсовых цепей, указаны в приложении VII.

Рельсовые цепи постоянного тока могут рассматриваться как:  
 а) цепи с сосредоточенной утечкой Т-образные или П-образные, номинальные или эквивалентные и  
 б) цепи с равномерно распределенной утечкой.

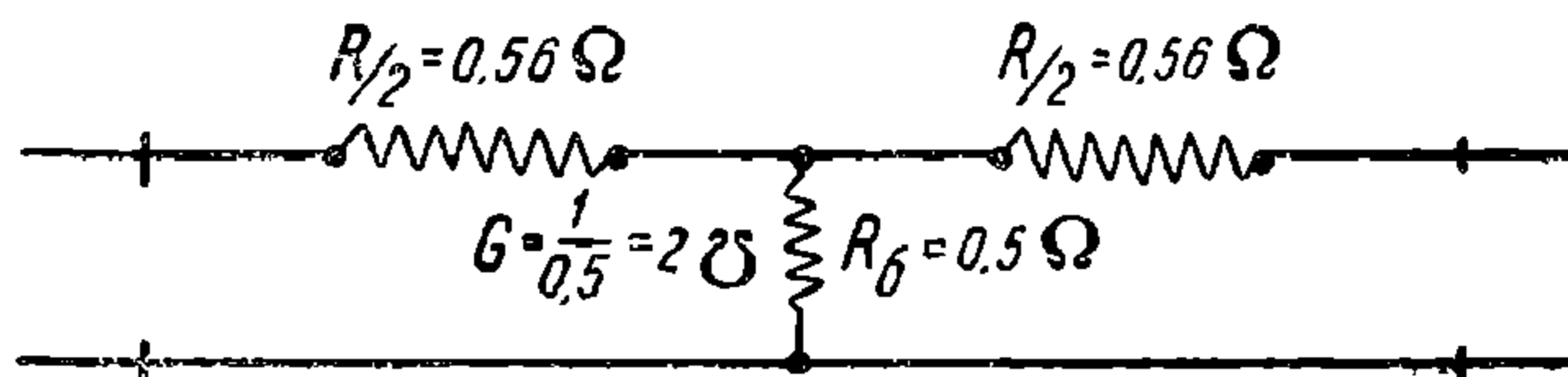


Рис. 72. Номинальная цепь

Для составления схемы Т-образной номинальной цепи надо в плечи рельсов и утечки вставить сопротивления (рис. 72):

$$\frac{R}{2} = \frac{r \cdot l}{2} \quad (103)$$

и

$$R_{\delta} = \frac{r_{\delta}}{l} \quad (104)$$

Величины сопротивления рельсов и утечки  $\left(\frac{R_{\delta}}{2} \text{ и } R_{\delta\delta}\right)$ , входящие в плечи схемы эквивалентной рельсовой цепи, получаются из следующих уравнений:

$$\frac{R_{\delta}}{2} = \frac{R}{2} \frac{\text{th}\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}{\left(\frac{\gamma l}{2}\right)} \quad (105)$$

и

$$\frac{1}{R_{\delta\delta}} = G_{\delta\delta} = G \cdot \frac{\text{sh} \gamma l}{\gamma l} \quad (106)$$

Значения тока ( $I_a$ ) и напряжения ( $V_a$ ) на батарейном (питающем) конце рельсовой цепи, необходимые для обеспечения работы рельсовой цепи при свободном ее состоянии, могут определяться по следующим формулам:



А. Для цепей с сосредоточенной утечкой:

$$I_a = \frac{I_p \left( \frac{R}{2} + R_p + R_o + R_\delta \right)}{R_\delta} \quad (107)$$

$$V_a = I_a \left[ \frac{R}{2} + \frac{R_\delta \left( \frac{R}{2} + R_p + R_o \right)}{\frac{R}{2} + R_p + R_c + R_\delta} \right] \quad (108)$$

При расчете эквивалентных цепей в предыдущую формулу вместо  $\frac{R}{2}$  входит  $\frac{R_o}{2}$  и вместо  $R_\delta$  —  $R_{\delta o}$ .

Б. Для цепей с равномерно распределенной утечкой:

$$V_a = V_e \cdot \operatorname{ch} \gamma l + I_e \cdot Z_\lambda \cdot \operatorname{sh} \gamma l \quad (109)$$

$$I_a = I_e \cdot \operatorname{ch} \gamma l + \frac{V_e}{Z_\lambda} \cdot \operatorname{sh} \gamma l \quad (110)$$

или формулы с позиционными углами:

$$\left. \begin{aligned} V_a &= V_e \frac{\operatorname{sh} \delta_a}{\operatorname{sh} \delta_{pc}} & (111) \\ I_a &= I_e \cdot \frac{\operatorname{ch} \delta_a}{\operatorname{ch} \delta_{pc}} & (112) \end{aligned} \right\} \text{ для случаев, когда } \frac{R_{pc}}{Z_\lambda} < 1$$

и

$$\left. \begin{aligned} V_a &= V_e \frac{\operatorname{ch} (\delta_\partial + \Theta)}{\operatorname{ch} \delta_\partial} & (113) \\ I_a &= I_e \cdot \frac{\operatorname{sh} (\delta_\partial + \Theta)}{\operatorname{sh} \delta_e} & (114) \end{aligned} \right\} \text{ для случаев, когда } \frac{R_{pc}}{Z_\lambda} > 1$$

где:

$$\delta_\partial = \operatorname{ar} t h \frac{Z_\lambda}{R_{pc}}.$$

Вместо аналитического решения задач по рельсовым цепям можно рассчитывать рельсовые цепи графически, методом, разработанным автором; основные построения, на которых базируется указанный метод, изложены в приложении VIII, а самое применение метода для расчета рельсовых цепей иллюстрировано в дальнейших задачах.

Для расчета ограничивающего сопротивления или шунтового эффекта можно пользоваться формулами:

$$1. \quad R_0 = \frac{E_{\max} - I_0 \cdot R_{pc}}{I_0 \left( 1 + \frac{R_{pc}}{R} \right)} \quad (115)$$

(выведена в предположении  $r_\delta = \infty$  и  $r = 0$ )

$$2. \quad \frac{1}{R_{ше}} = G_{ше} = \frac{E_{\max} \cdot \operatorname{ch} \delta_a}{I_0 \cdot R_{pc} \cdot Z_\lambda \cdot \operatorname{sh}(\delta_a + \Theta)} - \frac{R_{pc} + Z_\lambda \cdot \operatorname{th}(\delta_a + \Theta)}{R_{pc} \cdot Z_\lambda \cdot \operatorname{th}(\delta_a + \Theta)} \quad (116)$$

и

$$\frac{1}{R_{ша}} = G_{ша} = \frac{E_{\max} \cdot \operatorname{ch} \delta_e}{I_0 \cdot R_0 \cdot Z_\lambda \cdot \operatorname{sh}(\delta_e + \Theta)} - \frac{R_0 + Z_\lambda \cdot \operatorname{th}(\delta_e + \Theta)}{R_0 \cdot Z_\lambda \cdot \operatorname{th}(\delta_e + \Theta)} \quad (117)$$

где:

$$\delta_a = \operatorname{arth} \frac{R_0}{Z_\lambda} \quad \text{и} \quad \delta_e = \operatorname{arth} \frac{R_{pc}}{Z_\lambda}$$

При расчете предельного шунтового эффекта принимается:

а) минимальное значение тока отпадания реле  $I_{0\min}$ , которое за счет ухудшения характеристики реле с течением времени может составить 0,6—0,7  $I_0$ , указываемого в заводской табличке и относящегося к принимаемому на заводе реле;

б) максимальное значение напряжения батареи ( $E_{\max}$ );

в) минимальное возможное значение  $R$ ;

г) максимальное возможное значение  $R_\delta$  (в пределе  $\infty$ ).

В понятие расчета рельсовой цепи входят как расчет свободного состояния цепи, не занятой поездом, так и обязательная проверка шунтированного состояния ее.

**Задача 76.** Составьте номинальную Т-образную схему рельсовой цепи, длиной  $l=1,6$  км, имеющей удельное сопротивление рельсов  $r=0,7 \Omega/\text{км}$  и баласта  $r_\delta=0,8 \Omega/\text{км}$ .

*Решение.* Для данной рельсовой цепи будем иметь:

а) сопротивление рельсов:

$$R = r \cdot l = 0,7 \cdot 1,6 = 1,12 \Omega,$$

б) сопротивление утечки:

$$R_\delta = \frac{r_\delta}{l} = \frac{0,8}{1,6} = 0,5 \Omega.$$

По полученным данным строим номинальную Т-образную схему рельсовой цепи, показанную на рис. 72.

**Задача 77.** По данным предыдущей задачи составьте эквивалентную Т-образную схему рельсовой цепи.

*Решение.* Для получения эквивалентной цепи величины проводимости  $G = \frac{1}{R_\delta}$  и сопротивления  $\frac{R}{2}$ , входящие в плечи номинальной цепи, надо умножить соответственно на коэффициенты:

$$A = \frac{\operatorname{sh} \gamma l}{\gamma l}$$

и

$$B = \frac{\operatorname{th}\left(\gamma \frac{l}{2}\right)}{\left(\frac{\gamma l}{2}\right)}$$

Величины  $\gamma$  и  $\gamma l$  по данным цепи будут равны:

$$\gamma = \sqrt{\frac{r}{r_6}} = \sqrt{\frac{0,7}{0,8}} = 0,935$$

$$\gamma l = 0,935 \cdot 1,6 = 1,495.$$

Найдя по таблицам  $sh \gamma l = sh 1,495 = 2,1176$  и  $th \left(\frac{\gamma l}{2}\right) = th 0,7475 = 0,6336$ , определяем коэффициенты  $A$  и  $B$ :

$$A = \frac{sh \gamma l}{\gamma l} = \frac{2,1176}{1,495} = 1,414$$

$$B = \frac{th \left(\frac{\gamma l}{2}\right)}{\frac{\gamma l}{2}} = \frac{0,6336}{0,7475} = 0,848.$$

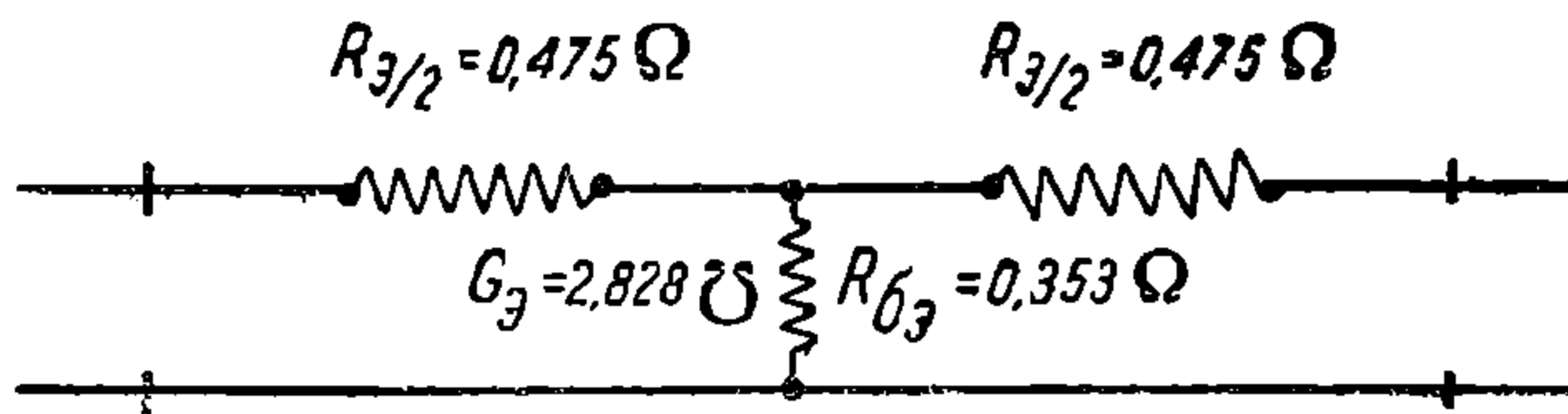


Рис. 73. Эквивалентная цепь.

Наконец, находим входящие в плечи эквивалентной цепи величины:

$$G_s = G \cdot A = 2 \cdot 1,414 = 2,828 \text{ S} \quad \text{или} \quad R_{s6} = \frac{1}{G_s} = \frac{1}{2,828} = 0,353 \Omega$$

и

$$\frac{R_s}{2} = \frac{R}{2} \cdot 0,848 = 0,56 \cdot 0,848 = 0,475 \Omega.$$

Требуемая схема эквивалентной цепи изображена на рис. 73.

#### Варианты заданий к условиям задач 76 и 77

№№ вариант.	$l$ км	$r$ $\Omega/\text{км}$	$r_6$ $\Omega/\text{км}$
1	1,2	0,4	0,5
2	1,3	0,5	1,2
3	0,9	0,6	0,6
4	0,8	0,8	0,5
5	1,1	0,6	0,8

**Задача 78.** В рельсовой цепи задачи 76 включено путевое реле типа НР-1 со следующими характеристиками: ток полного притяжения  $I_p = 105$  мА, сопротивление реле  $R_p = 2 \Omega$ , ток отпадания при заводской сдаче  $I_0 = 53$  мА и минимальный допустимый (расчетный на шунтовой эффект)

$I_{0\text{min}} = 30$  мА. Рассчитайте рельсовую цепь как номинальную Т-образную, приняв в качестве источника питания аккумулятор с  $E_{\text{max}} = 2,2$  В и  $E_{\text{min}} = 1,9$  В. Проверьте данную рельсовую цепь

на шунтовой эффект, определив сопротивление предельного поездного шунта. Сопротивление соединительных проводников  $R_0$  принимается  $= 0,1 \Omega$ .

*Решение.* На основании применения к схеме Т-образной рельсовой цепи закона Ома и Кирхгофа для тока  $I_a$  и напряжения  $V_a$  на батарейном конце будем иметь следующие уравнения:

$$I_a = I_p \frac{\left(\frac{R}{2} + R_p + R_c + R_\delta\right)}{R_\delta}$$

и

$$V_a = I_a \left[ \frac{R}{2} + \frac{R_\delta \cdot \left(\frac{R}{2} + R_p + R_c\right)}{\frac{R}{2} + R_p + R_c + R_\delta} \right].$$

Вставляя в приведенные уравнения данные величины, получим:

$$I_a = 0,105 \cdot \frac{(0,56 + 2 + 0,1 + 0,5)}{0,5} = \frac{0,105 \cdot 3,16}{0,5} = 0,664 \text{ A}$$

и

$$V_a = 0,664 \cdot \left[ 0,56 + \frac{0,5(0,56 + 2 + 0,1)}{0,56 + 2 + 0,1 + 0,5} \right] = 0,664(0,56 + 0,42) = 0,65 \text{ V}$$

Учитывая минимальное напряжение источника питания (1,9 V): находим, что в ограничивающем сопротивлении можно поглотить,

$$1,9 - 0,65 = 1,25 \text{ V} = I_a \cdot R_0,$$

откуда:

$$R_0 = \frac{1,25}{0,664} \cong 1,88 \Omega.$$

Для проверки шунтового эффекта пользуемся уравнением:

$$R_0 = \frac{E_{\max} - I_0 \cdot R_{pe}}{I_0 \left(1 + \frac{R_{pe}}{R_{ш}}\right)},$$

где  $R_{pe}$  — сопротивление реле с соединительными проводами.

Из указанного уравнения сопротивление поездного шунта будет равно:

$$R_{ш} = \frac{R_{pe} \cdot R_0 \cdot I_0}{E_{\max} - I_0 \cdot R_{pe} - R_0 I_0} = \frac{2,1 \cdot 1,88 \cdot 0,03}{2,2 - 0,03 \cdot 2,1 - 1,88 \cdot 0,03} = \frac{0,118}{2,08} = 0,057 \Omega.$$

Полученные значения  $R_{ш}$  близки к установленному практическому максимуму  $R_{ш} = 0,06 \Omega$ , и потому рассчитанную рельсовую цепь можно считать удовлетворяющей требованиям надежной работы как при свободном, так и при шунтированном ее состоянии.



разделенному на общее комбинированное сопротивление  $R_x$  двух указанных параллельно включенных цепей, надо найти комбинированное сопротивление этих параллельных ветвей.

Для этого проводим в произвольном масштабе ординату  $УГ$  и от точки  $У$  откладываем в масштабе отрезок  $УФ$ , параллельный оси абсцисс и равный  $R_6$ ; соединив точки  $У$  с  $Х$  и  $Ф$  с  $Г$ , проводим через точку пересечения линий  $УХ$  и  $ФГ$  параллельную оси абсцисс линию  $ЦШ$ ; отрезок  $ЦШ$  будет представлять комбинированное сопротивление  $R_x$ ; спроектировав точку  $Ц$  на ось абсцисс в точку  $И$  и проведя прямую от точки  $И$  через точку  $В$ , получим наклонную  $ВБ$ , характеризующую падение напряжения в левой части рельсовой цепи; ордината у батарейного конца  $АБ$  будет представлять напряжение  $V_a = 0,65 \text{ V}$ ; отложив от точки  $И$  отрезок, равный единице сопротивления, до точки  $Р$  и проведя ординату  $РС$  до пересечения с продолжением прямой  $ВБ$ , определим  $I_a = CP = 0,66 \text{ A}$ . Имея в качестве источника питания свинцовый аккумулятор с напряжением  $E_{\min} = 1,9 \text{ V}$ , продолжаем прямую  $ВС$  до пересечения в точке  $Л$  с линией, параллельной оси абсцисс, проведенной через ординату  $1,9 \text{ V}$ , соответствующую напряжению  $E_{\min}$ ; проектируя точку  $Л$  на ось абсцисс, определяем величину сопротивления  $АК$ , которое может быть включено между аккумулятором и питающим концом рельсовой цепи.

Вычтя из отрезка  $АК = 1,9 \Omega$  сопротивление соединительных проводов  $R_c = 0,1 \Omega$ , найдем  $R_0 = 1,8 \Omega$ .

Далее, проверим шунтированное состояние рельсовой цепи при нахождении поезда на питающем конце. Приняв, что для обеспечения отпадания якоря реле в обмотки его должен попадать ток  $I_{\min}$  не более  $0,03 \text{ A}$ , мы должны иметь в таком случае на клеммах реле напряжение  $V_0 = I_0 \cdot R_0 = 0,06 \text{ V}$ ; отложив  $V_0$  в виде отрезка  $ЧЕ$  и проведя через точки  $Ч$  и  $Х$  прямую до пересечения с ординатой  $АБ$ , мы найдем, что на питающем конце рельсовой цепи должно быть при обеспечении шунтирования напряжение  $АТ = 0,096 \text{ V}$ . (Линия  $ХТ$ , не ломаная, как  $ХВБ$ , потому что мы принимаем сопротивление утечки равным бесконечности, следовательно, ток на всем протяжении рельсовой цепи сохраняет одну и ту же силу  $I_{0\min}$ ). Напряжение источника питания при расчете шунтового эффекта надо принимать максимальное; для нашего примера оно будет равно  $E_{\max} = 2,2 \text{ V}$ .

Отложив  $E_{\max}$  в виде ординаты  $КМ$  и проведя наклонную  $МТ$ , мы определим то падение напряжения, которое должно произойти в ограничивающем сопротивлении  $R_0$ , с тем чтобы на питающем конце рельсовой цепи оказалось только напряжение  $АТ$ , обеспечивающее отпадание якоря реле. Отложив по оси абсцисс отрезок  $ЯП$ , равный единице сопротивления, и построив ординату  $ПО$ , мы определим полный ток, который должен при шунтировании даваться аккумулятором; этот ток  $I_{\text{аш}}$  по масштабу получается равным  $1,1 \text{ A}$ .

Так как напряжение на питающем конце рельсовой цепи равно  $АТ = V_{\text{аш}} = 0,96 \text{ V}$ , а ток в рельсовой цепи  $I_{0\min}$  равен  $0,03 \text{ A}$ , то мы

имеем все данные для определения того предельного поездного шунта, который будет обеспечен при рассмотренных условиях во взятом примере рельсовой цепи. Ток в поездном шунте будет равен:

$$I_{ш} = I_{ам} - I_0 = 1,1 - 0,03 = 1,07 \text{ мА},$$

следовательно:

$$R_{ш} = \frac{V_{ам}}{I_{ш}} = \frac{0,096}{1,07} = 0,09 \Omega.$$

Поездной шунт получился более обычно принимаемого максимального сопротивления поездного шунта в  $0,06 \Omega$ . Сравнительно с поездным шунтом предыдущей задачи наш шунт получился выше вследствие того, что в данной задаче учитывалось сопротивление рельсов, тогда как в предыдущей задаче оно было принято равным нулю.

**Задача 80.** Рассчитать графическим методом эквивалентную рельсовую цепь, схема которой была составлена при решении задачи 77.

Примененное в этой цепи путевое реле имеет данными:  $V_p = 0,21 \text{ В}$ ;  $I_p = 0,105 \text{ А}$  и  $R_p = 2 \Omega$ ; сопротивление соединительных проводников  $R_c = 0,1 \Omega$ .

После расчета свободного состояния рельсовой цепи определите, какой поездной шунт будет обеспечен в ней, при нахождении поезда на релейном конце.

*Решение.* Построение производим совершенно тождественно с предыдущей задачей, при чем для ясности буквенные обозначения аналогичных линий и точек на новом чертеже (рис. 75) оставлены те же, что и на рис. 74. Как видим из результатов построения получено:

$$V_a = 0,68 \text{ В}; I_a = 0,87 \text{ А} \text{ и } R_0 + R_c = 1,41 \Omega.$$

Для нахождения сопротивления предельного поездного шунта произведем следующие построения: откладываем  $ЕЧ = V_0 = 0,06$ ; проводим линию  $ЧХ$ , продолжая ее до пересечения в точке  $T$  с ординатой  $НУ$ , соответствующей релейному концу рельсовой цепи; на этом конце по условию задачи находится поездной шунт; для обеспечения отпадания якоря реле в рельсовой цепи при шунтированном состоянии должно произойти падение напряжения от  $E_{\max}$  (точка  $M$  на рис. 75) до величины, выражаемой отрезком  $ТН$ ; указанное падение изобразится прямой  $MT$ ; продолжив линию  $MT$  до пересечения с осью абсцисс, найдем точку  $Я$ , при чем отрезок  $НЯ$  будет изображать комбинированное сопротивление двух параллельных ветвей: а) поездного шунта  $R_{ш}$  и б) реле с соединительными проводами  $R_p + R_c$ ; чтобы найти  $R_{ш}$ , проводим линию  $УХ$  и проектируем точку  $Я$  на нее (в точку  $Ц$ ); соединяя точки  $Н$  и  $Ц$  и продолжая линию  $НЦ$  до пересечения с линией  $УЖ$ , находим точку  $\Phi$ ; отрезок  $У\Phi$  будет представлять  $R_{ш}$ ; последнее равно  $0,08 \Omega$ .

**Задача 81.** Рельсовая цепь имеет следующие данные: а)  $l = 1,6 \text{ км}$ ;  $r = 0,7 \Omega/\text{км}$ ;  $r_c = 0,8 \Omega/\text{км}$ ; б) применено реле типа НР-1 с сопротивлением обмоток  $2 \Omega$  и током полного притяжения  $I_p = 0,105 \text{ А}$ ; сопротивление соединительных проводов  $R_c = 0,1 \Omega$ ; в) питание от аккумулятора с  $E_{\min} = 1,9 \text{ В}$  и  $E_{\max} = 2,2 \text{ В}$ .

Рассчитать свободное состояние приведенной рельсовой цепи, считая утечку равномерно распределенной.

Решение. Величины  $V_a$  и  $I_a$  для заданной рельсовой цепи находим по уравнениям:

$$V_a = V_e \cdot \operatorname{ch} \gamma l + I_e \cdot Z_\lambda \cdot \operatorname{sh} \gamma l$$

и

$$I_a' = I_e \cdot \operatorname{ch} \gamma l + \frac{V_e}{Z_\lambda} \cdot \operatorname{sh} \gamma l.$$

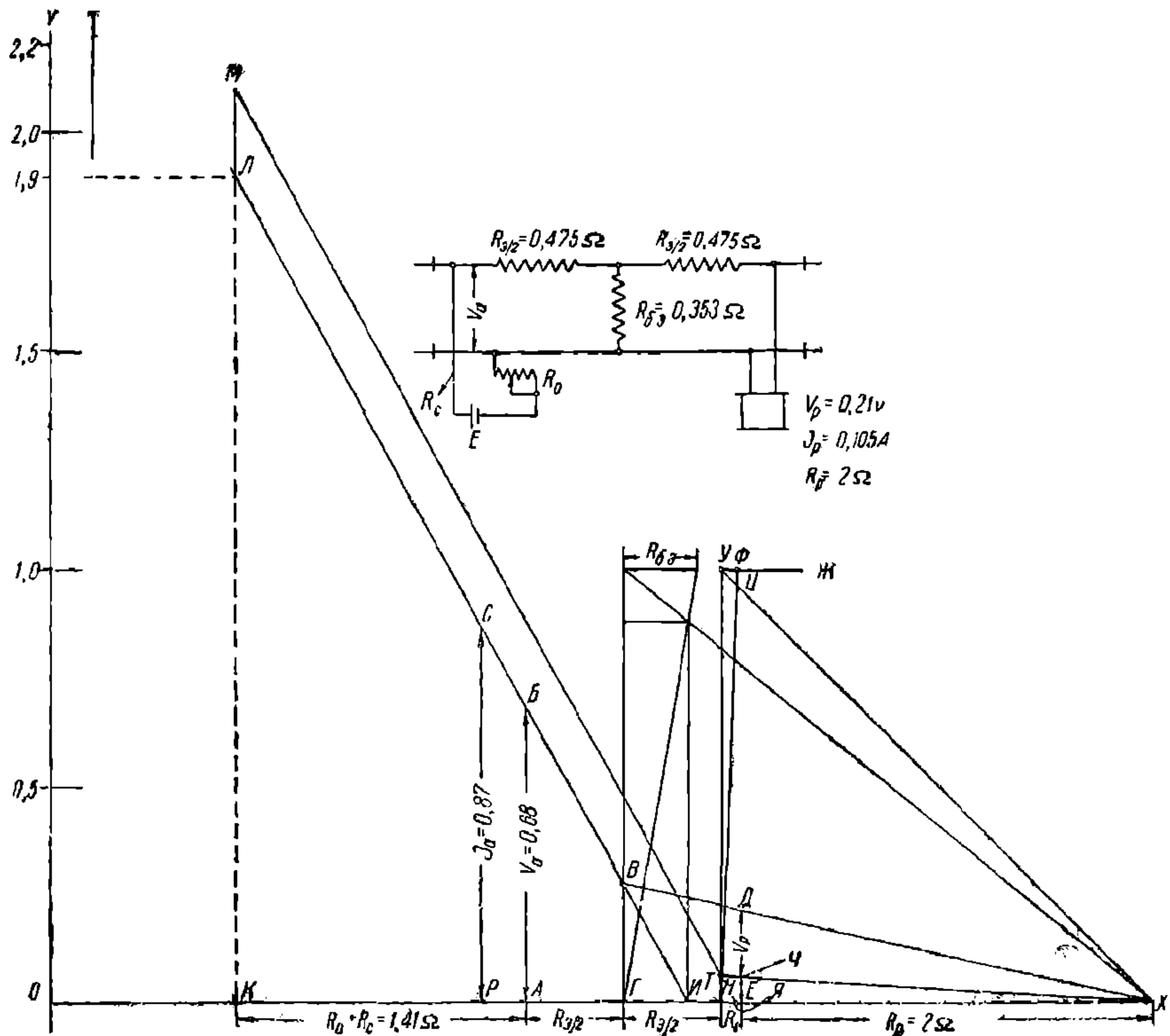


Рис. 75. Графический расчет.

Входящие в правую часть этих уравнений величины будут равны:

$$V_e = V_p + I_p \cdot R_c = 0,21 + 0,105 \cdot 0,1 \cong 0,22 \text{ V.}$$

$$I_e = I_p = 0,105 \text{ A;}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{r}{r_6}} = \frac{0,7}{0,8} = 0,935;$$

$$\gamma l = 0,935 \cdot 1,6 = 1,495;$$

$$\operatorname{ch} \gamma l = \operatorname{ch} 1,495 = 2,3418;$$

$$\operatorname{sh} \gamma l = \operatorname{sh} 1,495 = 2,1176$$

$$Z_\lambda = \sqrt{r \cdot r_6} = \sqrt{0,7 \cdot 0,8} = 0,748.$$

ИТЬ  
ДНУЖТ



Подставляя приведенные величины в уравнения для определения  $V_a$  и  $I_a$ , находим их:

$$V_a = 0,22 \cdot 2,3418 + 0,105 \cdot 0,748 \cdot 2,1176 = 0,509 + 0,166 = 0,675 \text{ V}$$

$$I_a = 0,105 \cdot 2,3418 + \frac{0,22}{0,748} \cdot 2,1176 = 0,255 + 0,623 = 0,878 \text{ A.}$$

Сравнивая полученные значения  $V_a$  и  $I_a$  со значениями, полученными в предыдущей задаче при расчете рельсовой цепи, как эквивалентной ( $V_a = 0,68 \text{ V}$  и  $I_a = 0,87 \text{ A}$ ), видим почти полное совпадение, тогда как с результатами расчета этой же рельсовой цепи, как номинальной, расхождение значительно большее ( $V_a = 0,65 \text{ V}$  и  $I_a = 0,664 \text{ A}$ ).

Величину ограничивающего сопротивления находим из уравнения:

$$E_{\min} - I_a \cdot R_0 = V_a,$$

откуда

$$R_0 = \frac{E_{\min} - V_a}{I_a} = \frac{1,9 - 0,675}{0,878} = \frac{1,225}{0,878} = 1,4 \text{ } \Omega.$$

**Задача 82.** Решить предыдущую задачу по формулам с позиционными углами.

*Решение.* Так как для данной цепи отношение  $\frac{R_{pe}}{Z_\lambda} = \frac{2,1}{0,748} = 2,81 > 1$ , то для решения пользуемся формулами:

$$V_a = V_e \cdot \frac{\text{ch}(\Theta + \delta_\partial)}{\text{ch} \delta_\partial}$$

и

$$I_a = I_e \frac{\text{sh}(\Theta + \delta_\partial)}{\text{sh} \delta_\partial},$$

где

$$\delta_\partial = \text{ar th} \frac{Z_\lambda}{R_{pe}}$$

и

$$\Theta = \gamma l = 1,495$$

$$\text{Так как } \text{th} \delta_\partial = \frac{Z_\lambda}{R_{pe}} = \frac{0,748}{2,1} = 0,357,$$

то

$$\delta_\partial = 0,373 \text{ (по таблицам гиперболических функций).}$$

Подставляя  $V_e$ ,  $I_e$ ,  $\Theta$  и  $\delta_\partial$  в уравнение для определения  $V_a$  и  $I_a$ , получаем:

$$V_a = 0,22 \cdot \frac{\text{ch}(1,495 + 0,373)}{\text{ch} 0,373} = \frac{0,22 \cdot 3,3169}{1,0712} = 0,68 \text{ V.}$$

$$I_a = 0,105 \cdot \frac{\text{sh}(1,495 + 0,373)}{\text{sh} 0,373} = \frac{0,105 \cdot 3,1605}{0,3816} = 0,871 \text{ A.}$$

Полученные результаты почти совпадают с результатами предыдущей задачи.

Варианты заданий к условиям задач 78, 79, 80, 81 и 82.

№№ вар.	$l$ км	$r$ $\Omega/\text{км}$	$r\delta$ $\Omega/\text{км}$	$V_p$ В	$R_p$ $\Omega$	$I_0$ А	$E_{\min}$	$E_{\max}$
1	1,2	0,5	0,6	0,2	2	0,055	1,9	2,2
2	1	0,5	0,6	0,2	2	0,045	1,9	2,2
3	0,8	0,6	0,6	0,21	2	0,035	1	1,2
4	0,7	0,4	0,7	0,21	2	0,03	0,6	0,7
5	1,3	0,7	0,5	0,21	2	0,03	1,95	2,2

Во всех вариантах  $R_c$  принимается равным  $= 0,1 \Omega$ .

**Задача 83.** Определите, какое напряжение может оказаться на релейном конце, если в рельсовой цепи, рассчитанной в задаче 81, сопротивление утечки  $r_c$  изменится с  $0,8 \Omega$  до  $3 \Omega/\text{км}$  и напряжение аккумулятора будет  $E_{\max} = 2,2 \text{ В}$  при тех же прочих данных, что и в задаче 81.

*Решение.* Вследствие изменения сопротивления утечки изменится распределение токов и напряжений в цепи. Зависимость напряжения на релейном конце можно определить из уравнений:

$$V_a = V_e \frac{\text{ch}(\Theta + \delta_\theta)}{\text{ch}\delta_\theta} = E_{\max} - I_a \cdot R_0.$$

Подставляя в приведенное уравнение значение  $I_a = I_0 \frac{\text{sh}(\Theta + \delta_\theta)}{\text{sh}\delta_\theta}$

$$\text{или} = \frac{V_e}{R_p + R_c} \frac{\text{sh}(\Theta + \delta_\theta)}{\text{sh}\delta_\theta},$$

получим:

$$V_e \cdot \frac{\text{ch}(\Theta + \delta_\theta)}{\text{ch}\delta_\theta} = E_{\max} - \frac{V_e \cdot R_0}{R_p + R_c} \cdot \frac{\text{sh}(\Theta + \delta_\theta)}{\text{sh}\delta_\theta},$$

откуда

$$V_e = \frac{E_{\max}}{\left[ \frac{\text{ch}(\Theta + \delta_\theta)}{\text{ch}\delta_\theta} + \frac{R_0}{R_p + R_c} \frac{\text{sh}(\Theta + \delta_\theta)}{\text{sh}\delta_\theta} \right]}.$$

Пользуясь последним уравнением, можно определить искомое  $V_e$ , для этого определим входящие в указанное уравнение величины:

$$\gamma = \sqrt{\frac{0,7}{3}} = \sqrt{0,233} = 0,483,$$

$$\gamma l = \Theta = 0,483 \cdot 1,6 = 0,772,$$

$$Z_\lambda = \sqrt{0,7 \cdot 3} = \sqrt{2,1} = 1,45,$$

$$\text{th}\delta_\theta = \frac{Z_\lambda}{R_{pc}} = \frac{1,45}{2,1} = 0,69,$$

$$\delta_\theta = 0,848.$$

После подстановки найденных и данных величин имеем:

$$V_e = \frac{2,2}{\left[ \frac{\operatorname{ch}(0,772 + 0,848)}{\operatorname{ch} 0,848} + \frac{1,4}{2,1} \cdot \frac{\operatorname{sh}(0,772 + 0,848)}{\operatorname{sh} 0,848} \right]} =$$

$$= \frac{2,2}{\left( \frac{2,6255}{1,3816} + \frac{1,4}{2,1} \cdot \frac{2,4276}{0,9533} \right)} = \frac{2,2}{(1,9 + 1,7)} \cong 0,61 \text{ V.}$$

Таким образом по полученному результату мы видим, что при заданных условиях напряжение на релейном конце повысилось в  $\frac{0,61}{0,22} = 2,77$  раза (меньше предельной 4-кратной перегрузки); если бы пришлось регулировать данную рельсовую цепь при заданных условиях утечки и напряжения батареи, то, во избежание отказа работы цепи при увеличившейся утечке (при  $r_\delta = 0,8 \text{ } \Omega/\text{км}$ ) и при пониженной вольтаже батареи, пришлось бы рассчитывать на необходимость иметь на релейном конце напряжение не  $0,22 \text{ V}$ , а  $0,61 \text{ V}$ .

**Задача 84.** Найти сопротивление предельного поездного шунта при нахождении поезда на батарейном конце по формуле с позиционными углами для рельсовой цепи со следующими данными:

$$V_p = 0,21 \text{ V}; \quad V_0 = 0,06 \text{ V}; \quad R_p = 2 \text{ } \Omega; \quad R_e = 0,1 \text{ } \Omega; \quad l \text{ цепи} = 1,6 \text{ км};$$

$$r = 0,7 \text{ } \Omega/\text{км}; \quad r_\delta = 10 \text{ } \Omega/\text{км} \text{ и } R_0 = 1,5 \text{ } \Omega.$$

*Решение.* Искомое сопротивление находится из уравнения:

$$\frac{1}{R_{ша}} = G_{ша} = \frac{E_{\max} \cdot \operatorname{ch} \delta_e}{I_0 \cdot R_0 Z_\lambda \cdot \operatorname{sh}(\delta_e + \theta)} - \frac{R_0 + Z_\lambda \cdot \operatorname{th}(\delta_e + \theta)}{R_0 \cdot Z_\lambda \cdot \operatorname{th}(\delta_e + \theta)}$$

где

$$\delta_e = \operatorname{arth} \frac{R_{pe}}{Z_\lambda};$$

Найдем по заданным условиям входящие в приведенное уравнение величины:

$$\gamma = \sqrt{\frac{0,7}{10}} = \sqrt{0,07} = 0,265,$$

$$\gamma l = \theta = 0,265 \cdot 1,6 = 0,423,$$

$$Z_\lambda = \sqrt{0,7 \cdot 10} = \sqrt{7} = 2,65,$$

$$\operatorname{th} \delta_e = \frac{R_{pe}}{Z_\lambda} = \frac{2,1}{2,65} = 0,792,$$

$$\delta_e = 1,077.$$

Подставляя найденные и данные величины в уравнение для определения  $\frac{1}{R_{шa}}$ , получаем:

$$\frac{1}{R_{шa}} = G_{шa} = \frac{2,2 \cdot \operatorname{ch} 1,077}{0,03 \cdot 1,5 \cdot 2,65 \operatorname{sh} (1,077 + 0,423)} - \frac{1,5 + 2,65 \cdot \operatorname{th} (1,077 + 0,423)}{1,5 \cdot 2,65 \cdot \operatorname{th} (1,077 + 0,423)} = \frac{2,2 \cdot 1,6383}{0,03 \cdot 1,5 \cdot 2,1293} - \frac{1,5 + 2,65 \cdot 0,9052}{1,5 \cdot 2,65 \cdot 0,9052} = 14,2 - 1,08 = 13,12 \overline{5},$$

откуда  $R_{шa} = \frac{1}{13,12} = 0,076 \Omega$ , что вполне удовлетворительно.

**Задача 85.** По условию предыдущей задачи найти предельное значение поездного шунта при нахождении поезда на релейном конце.

*Решение.* Значение сопротивления поездного шунта находится по формуле:

$$\frac{1}{R_{ше}} = G_{ше} = \frac{E_{\max} \cdot \operatorname{ch} \delta_a}{I_0 R_{pc} \cdot Z_{\lambda} \cdot \operatorname{sh} (\delta_a + \Theta)} - \frac{R_{pc} + Z_{\lambda} \cdot \operatorname{th} (\delta_a + \Theta)}{R_{po} \cdot Z_{\lambda} \cdot \operatorname{th} (\delta_a + \Theta)},$$

где  $\delta_a = \operatorname{ar th} \frac{R_0}{Z_{\lambda}}$

Для нахождения  $\frac{1}{R_{ше}}$  по приведенному уравнению в предыдущей задаче найдены все необходимые величины, кроме  $\delta_a$ ; определим ее

$$\operatorname{th} \delta_a = \frac{R_0}{Z_{\lambda}} = \frac{1,5}{2,65} = 0,566,$$

$$\delta_a = 0,642.$$

Подставляя найденные и данные величины в уравнение для определения  $\frac{1}{R_{ше}}$ , находим:

$$\frac{1}{R_{ше}} = \frac{2,2 \cdot 1,2133}{0,03 \cdot 2,1 \cdot 2,65 \cdot 1,2781} - \frac{2,1 + 2,65 \cdot 0,7876}{2,1 \cdot 2,65 \cdot 0,7876} = 12,5 - 0,955 = 11,545,$$

откуда:  $R_{ше} = \frac{1}{11,545} = 0,0865 \Omega$ .

Сравнивая с результатами предыдущей задачи, видим, что для данных условий шунтовой эффект на релейном конце лучше, чем на батарейном.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даль. Электрические цепи. Госэнергоиздат, 1933, стр. 200—202.
2. Круг. Основы электротехники. Том I. Гос. научно-технич. издат., 1931, стр. 92—93.
3. Скоморохов. Основы загальної электротехніки. Технічне видавництво УСРР, 1932, стр. 8—10.
4. Литература, указанная в перечне отдела VII.

## XI РАСЧЕТЫ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Расчет рельсовых цепей переменного тока производится преимущественно графически построением векторных диаграмм. При расчете рельсовых цепей, как номинальных цепей, построение производится непосредственным применением обычных способов построения векторных диаграмм, применяемых в теории переменных токов.

При расчете рельсовых цепей с равномерно распределенной утечкой широко применяется графический метод Льюиса, сводящийся к нахождению суммы векторов убывающего ряда напряжений и токов:

$$V_a = V_e + \overline{Z \cdot I_e} + \frac{Z}{2} \cdot G \cdot V_e + \frac{Z}{3} \cdot \frac{G}{2} \cdot Z I_e \dots \quad (118)$$

$$\overline{I_a} = I_e + \overline{G \cdot V_e} + \frac{G}{2} \cdot \overline{Z} \cdot \overline{I_e} + \frac{G}{3} \cdot \frac{Z}{2} \cdot \overline{G V_e} \dots \quad (119)$$

Также применяется приближенный графо-аналитический способ, по которому  $V_a$  и  $I_a$  находится посредством уравнений:

$$V_a = V_e \cdot A + \overline{I_e \cdot Z} \cdot B \quad (120)$$

и

$$I_a = \overline{I_e} \cdot A + \overline{V_e} \cdot G \cdot B, \quad (121)$$

где коэффициенты  $A$  и  $B$  равны:

$$A = \left( 1 + \frac{\overline{Z \cdot G}}{2} \right). \quad (122)$$

$$B = \left( 1 + \frac{\overline{Z \cdot G}}{6} \right) \quad (123)$$

Найдя комплексные выражения для  $A$  и  $B$ , далее  $V_a$  и  $I_a$  находят, строя сумму 2 произведений векторов ( $V_e$  и  $I_e$ ) на эти комплексы. Шунтовой эффект в рельсовых цепях проверяют, строя векторные диаграммы для шунтового состояния, обычно принимая  $I_e$  равным бесконечности; если при шунтировании предельным поездным шунтом рассчитанное напряжение на путевом трансфор-

маторе окажется меньше, чем установленное для свободного состояния рельсовой цепи, то это дает указание об обеспечении принятого при проверке поездного шунта; в противном случае обеспечиваемый в рельсовой цепи поездной шунт будет меньше принятого при проверке. Другим способом проверки поездного шунта является графический метод, основанный на методе инверсии<sup>1</sup>.

При однорельсовых цепях приходится защищать реле и другие включенные в рельсовую цепь приборы специальными сопротивлениями, во избежание перегрева их уравнительными токами, возникающими от разности потенциалов  $V$ , создаваемой тяговыми токами  $I_m$  в тяговом рельсе, соответствующей длине рассматриваемой рельсовой цепи. Разность потенциалов равна:

$$V = I_m \cdot R,$$

где  $R$ —сопротивление тягового рельса на длине рельсовой цепи.

Величина защитного сопротивления определяется по формуле:

$$R_s = \frac{V}{I_{\max}},$$

где  $I_{\max}$ —допустимая сила уравнительного тока (сверх нагрузочного) для включенных в рельсовую цепь приборов. Защитные сопротивления обычно ставятся по обоим концам рельсовой цепи (по  $\frac{R_0}{2}$ ).

**Задача 86.** Дана номинальная рельсовая цепь переменного тока длиной  $l = 500$  м со следующими данными:

- а) сопротивление рельсов  $r = 0,74 \text{ } \Omega/\text{км}$  при  $\varphi = 62^\circ$ ;
- б) сопротивление баласта  $r_b = 0,5 \text{ } \Omega/\text{км}$ ;
- в) сопротивление соединительных проводов  $R_c = 0,1 \text{ } \Omega$ ;
- г) реле одноэлементное секторное типа SLV-13, требующее для работы  $V_p = 4,75 \text{ В}$ ;  $I_p = 1,95 \text{ А}$  при  $\cos \varphi_p = 0,56$  ( $\varphi_p \cong 56^\circ$ );
- д) ограничивающее сопротивление в виде реактора с  $\cos \varphi_0 = 0,2$  ( $\varphi_0 = 78,5^\circ$ ), либо в виде омического сопротивления.

Определить:

- а) напряжение и ток на батарейном конце ( $V_a$  и  $I_a$ );
- б) величину ограничивающего сопротивления омического или реактивного) при напряжении на клеммах трансформатора  $V_m \cong 2 V_p$ ;
- в) потребление энергии рельсовой цепью в случае омического и реактивного сопротивлений ( $W_R$  и  $W_z$ ).

**Решение.** Строим  $V_p$  и  $I_p$  в виде векторов  $OA$  и  $OB$  (рис. 76); определяем падение напряжения в соединительных проводах:

$$V_c = I_p \cdot R_c = 1,95 \cdot 0,1 \cong 0,2 \text{ В}$$

и прибавляем его в виде вектора  $BГ // OA$  к вектору  $OB = V_p$ ; замыкающий вектор  $OG$  будет напряжением на релейном конце ( $V_a$ ).

<sup>1</sup> Таттерсал. Основы современной железнодорожной сигнализации. Кубуч, 1932, стр. 88—92.

Далее определяем величину падения напряжения в правой части рельсовой цепи:

$$I_e \cdot \frac{Z}{2} = 1,95 \cdot \frac{0,37}{2} = 0,36V;$$

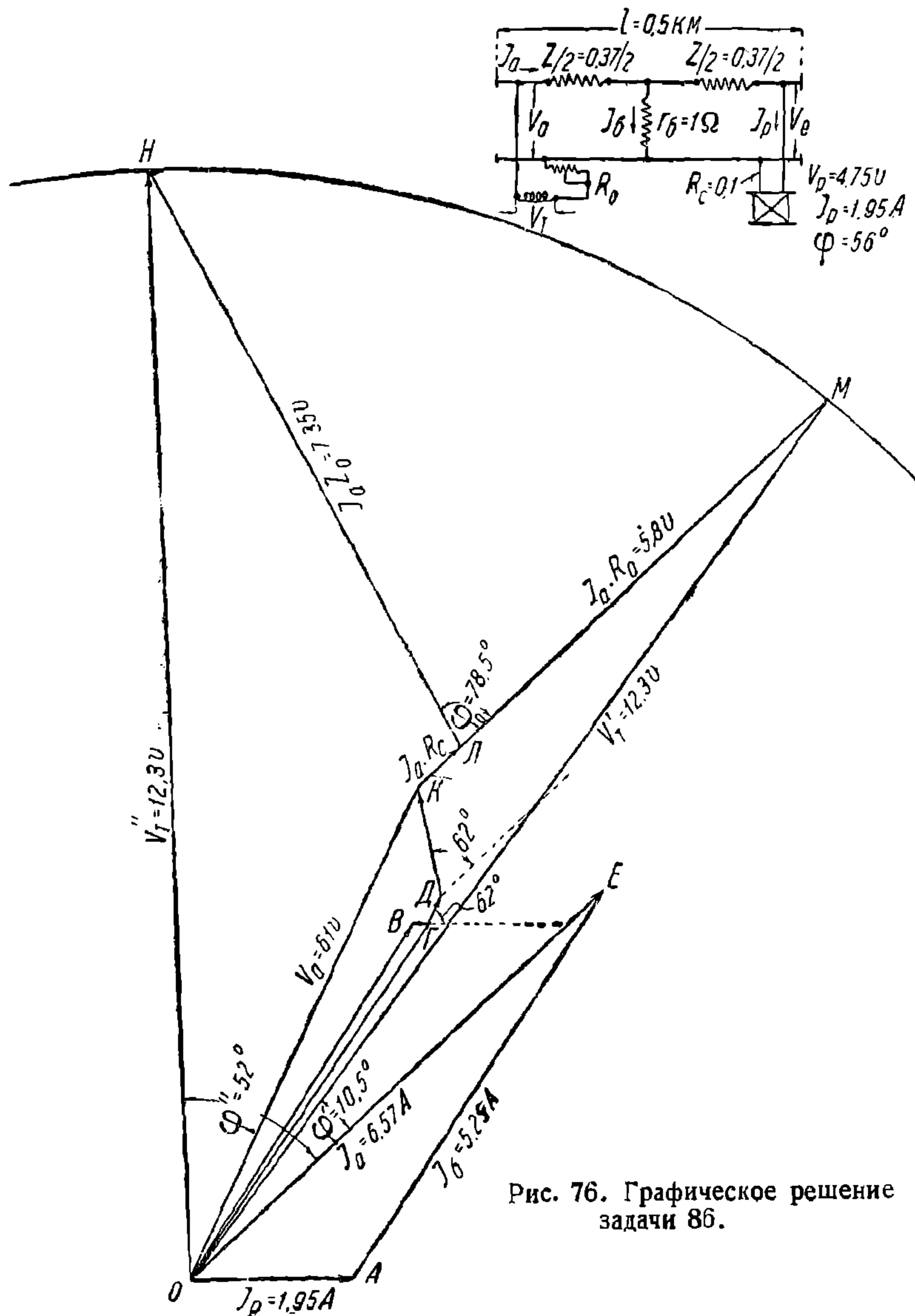


Рис. 76. Графическое решение задачи 86.

последнюю величину прибавляем к вектору  $V_e$  в виде вектора  $\Gamma Д$ , составляющего угол в  $62^\circ$  с направлением вектора  $I_p$ . Замыкающий вектор  $ОД$  будет равен  $V_\delta$ ; он равен  $5,25V$ .

Определяем ток утечки через баласт:

$$I_\delta = \frac{V_\delta}{R_\delta};$$

так как

$$R_{\delta} = \frac{r_{\delta}}{l} = \frac{0,5}{0,5} = 1 \text{ } \Omega, \text{ то } I_{\delta} = \frac{5,25}{1} = 5,25 \text{ А.}$$

Прибавив к  $I_p$  вектор тока  $I_{\delta} = AE$ , параллельный  $V_{\delta}$ , находим графически величину.

$$I_a = OE = 6,57 \text{ А}$$

Падение напряжения в левой части рельсовой цепи будет:

$$I_a \cdot \frac{Z}{2} = 6,57 \cdot \frac{0,37}{2} = 1,23 \text{ В;}$$

вектор найденного падения напряжения будет направлен под углом  $62^{\circ}$  к току  $I_a$ ; построив его в виде вектора  $DK$ , графически определяем:

$$V_a = OK = 6,1 \text{ В.}$$

Напряжение для питания берем от клемм  $2T-3S$ , с перемычкой  $4T-1S$  трансформатора типа  $ПОБС$ ; оно будет равно  $V_m = 12,3 \text{ В} \cong 2V_a$ . Проведя линию  $KL \parallel OE (I_a)$ , откладываем на ней падение напряжения в соединительных проводах:

$$I_a \cdot R_c = 6,57 \cdot 0,1 = 0,66 \text{ В.}$$

Отрезок  $LM$ , представляющий продолжение  $KL$  до пересечения с окружностью, проведенной радиусом  $V_m = 12,3 \text{ В} = OM$ , будет представлять падение в омическом ограничивающем реостате; оно равно:

$$5,8 \text{ В} = I_a \cdot R_0,$$

следовательно:

$$R_0 = \frac{5,8}{6,57} = 0,883 \text{ } \Omega.$$

Проведя линию  $LN$  под углом  $\varphi_0 = 78,5^{\circ}$  (фазный угол реактора) находим, что в реакторе может быть потеряно  $7,35 \text{ В} = I_a \cdot Z_0$ ; откуда:

$$Z_0 = \frac{7,35}{I_a} = \frac{7,35}{6,57} = 1,12 \text{ } \Omega.$$

По рисунку находим, что фазный угол между  $V_m$  и  $I_a$  при омическом реостате  $\varphi' = 10,5^{\circ}$ , а при реакторе  $\varphi'' = 52^{\circ}$ . Потребление энергии получится:

$$W_R = V_m \cdot I_a \cos \varphi' = 12,3 \cdot 6,57 \cdot 0,983 = 79,4 \text{ Вт.}$$

$$W_Z = V_m \cdot I_a \cos \varphi'' = 12,3 \cdot 6,57 \cdot 0,6157 = 49,8 \text{ Вт.}$$



**Задача 87.** Дана рельсовая цепь переменного тока со следующими данными:

1. Длина  $l = 0,5$  км.
2. Сопротивление баласта  $r_b = 0,5 \Omega/\text{км}$ .
3. Сопротивление рельсов  $z = 0,68 \Omega/\text{км}$  и  $\varphi = 78^\circ$ .
4. Сопротивление соединительных проводников  $R_c = 0,1 \Omega$ .
5. Реле-модель 15, имеющее:  $V_p = 0,29$  В;  $I_p = 0,92$  А и  $\varphi_p = -26^\circ$ .
6. Напряжение на клеммах путевого трансформатора берется  $V_m \geq 2V_a$ .
7.  $\cos \varphi_0$  реактора = 0,2. ( $\varphi_0 \cong 78^\circ$ ).

Рассчитать данную цепь, как номинальную, определив:

- а) напряжение и ток на питающем конце  $V_a$  и  $I_a$ ;
- б) напряжение на клеммах путевого трансформатора  $V_m$ ;
- в) величину ограничивающего сопротивления  $R_0$  или  $Z_0$  (в случае применения омического реостата или реактора) и
- г) потребление энергии в том и другом случае.

*Решение.* Графическое построение производим аналогично решению предыдущей задачи (рис. 77, фиг. А). Строим  $V_p$  и  $I_p$  под углом  $26^\circ$  (т. е.  $I_p$  опережает  $V_p$ ). К  $V_p$  прибавляем падение напряжения в соединительных проводах:

$$I_p \cdot R_c = 0,92 \cdot 0,1 = 0,09 \text{ В.}$$

Так как  $R_c$  принимается чисто омическим, то вектор  $I_p \cdot R_c$  совпадает по направлению с вектором  $I_p$ . Из графика находим:

$$V_e = 0,38 \text{ В.}$$

Ток  $I_p = I_e$ , проходя через сопротивление рельсов  $\frac{Z}{2}$ , вызывает падение напряжения:

$$I_e \cdot \frac{Z}{2} = 0,92 \cdot 0,17 = 0,16 \text{ В.}$$

Складываем геометрически это падение с  $V_e$ , учитывая, что вектор  $I_e \cdot \frac{Z}{2}$  по отношению к току  $I_e$  имеет сдвиг в  $78^\circ$  (соответственно фазному углу в рельсах). По графику имеем:

$$V_b = 0,39 \text{ В.}$$

Определяем  $I_b$ : так как

$$R_b = \frac{r_b}{l} = \frac{0,5}{0,5} = 1 \Omega,$$

то

$$I_b = \frac{0,39}{1} = 0,39 \text{ А.}$$

Откладываем вектор  $I_b$  от конца  $I_p$  параллельно вектору  $V_b$ , так как считаем утечку чисто омической; результирующий вектор  $I_a = 1,32$  А.

Определяем падение напряжения в левой части цепи

$$I_a \cdot \frac{Z}{2} = 1,32 \cdot 0,17 = 0,22V.$$

Геометрически складывая вектора  $I_a \cdot \frac{Z}{2}$  и  $V_\delta$ , получаем:

$$V_a = 0,5V.$$

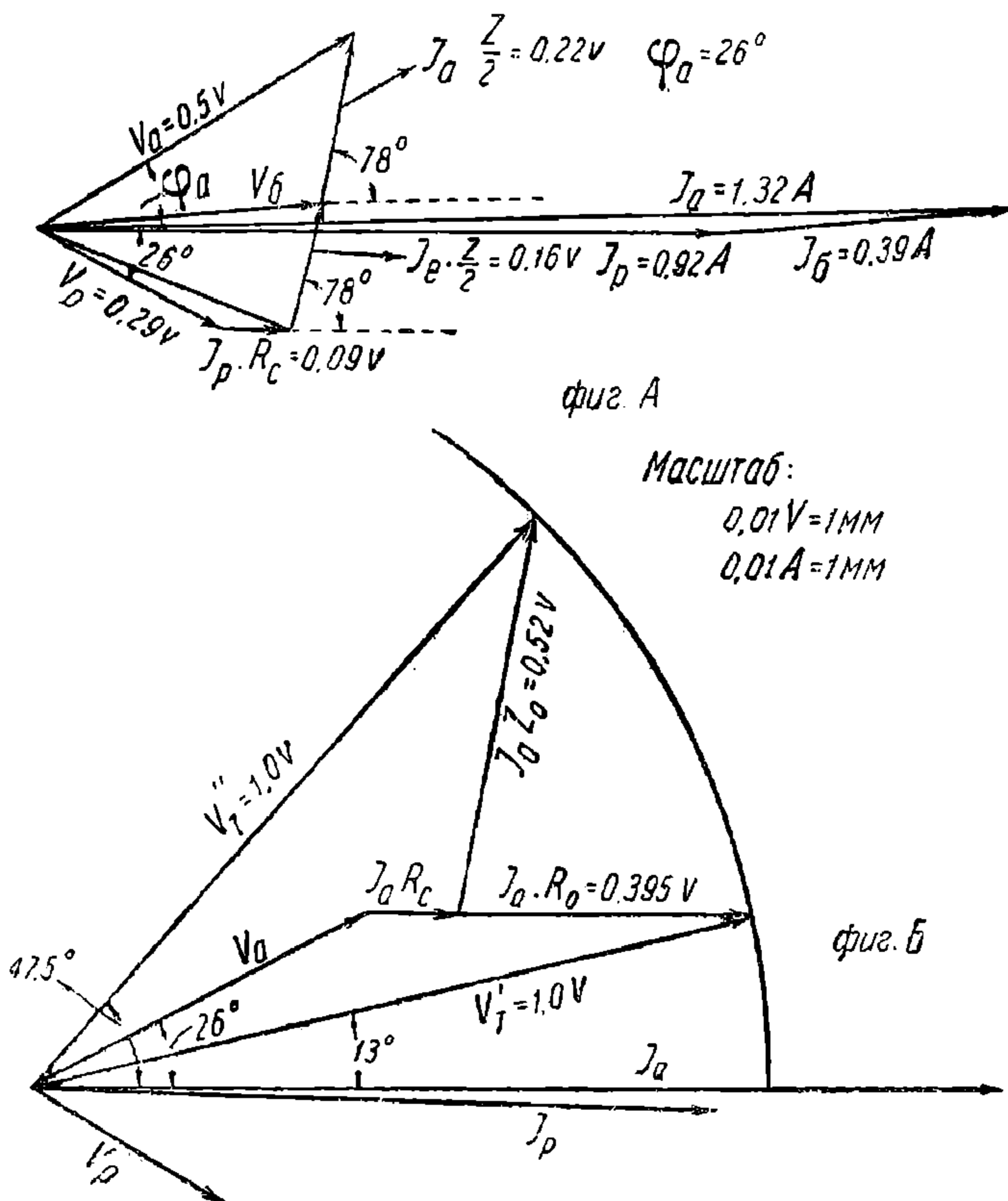


Рис. 77. Графическое решение задачи 87.

Принимаем

$$V_m = 2 V_a = 1V.$$

Определяя графически  $R_0$  (рис. 77, фиг. Б), получаем.

$$I_a R_0 = 0,395V,$$

и следовательно:

$$R_0 = \frac{0,395}{1,32} = 0,3 \Omega.$$

Аналогично находим  $Z_0$  реактора:

$$I_a \cdot Z_0 = 0,52V,$$

$$Z_0 = \frac{0,52}{1,32} = 0,4\Omega.$$

Потребляемые мощности будут следующие:

а) при омическом сопротивлении:

$$W_R = V_m I_a \cos 13^\circ = 1 \cdot 1,32 \cdot 0,97_1 = 1,28W,$$

б) при индуктивном сопротивлении:

$$W_z = V_m \cdot I_a \cos 47,5^\circ = 1 \cdot 1,32 \cdot 0,676 = 0,89W.$$

**Задача 88.** Рассчитать рельсовую цепь переменного тока с данными предыдущей задачи, рассматривая ее как цепь с равномерно распределенной утечкой.

*Решение.* Расчет производим графически по методу Льюиса (Lewis). Напряжение и сила тока на питающем конце определяются по следующим формулам убывающих рядов:

$$V_a = V_e + \bar{I}_e Z + V_e \frac{\bar{Z} \cdot G}{2} + I_e \cdot \frac{\bar{Z} G}{2} \cdot \frac{Z}{3} \quad (\text{ряд напряжения})$$

$$\bar{I}_a = \bar{I}_e + \bar{V}_e G + I_e \frac{\bar{Z} \cdot G}{2} + V_e \cdot \frac{\bar{Z} G}{2} \cdot \frac{G}{3} \quad (\text{ряд тока}).$$

Имеем данными:

$$Z = 0,34 \Omega; G = \frac{1}{R_0} = 1 \text{ } \mathcal{S}; I_e = I_p = 0,92 \text{ A},$$

$V_e = V_p + I_e \cdot R_c \cong 0,38 \text{ V}$  (по графику рис. 78);  $\varphi_p = -26^\circ$ ;  $\varphi_0$  (реактора)  $= 78^\circ$

Подставляя данные величины в вышеприведенные ряды, находим величины входящих в них векторов; результаты расчетов последних помещены в следующей табличке:

№№ членов	Ряд напряжений в V	Ряд силы тока в A
1	0,38	$0,92 \cdot \frac{0,92}{1} = 0,38$
2	$0,92 \cdot 0,34 = 0,31$	$0,38 \cdot \frac{1}{2} = 0,155$
3	$0,38 \cdot 0,17 = 0,065$	$0,065 \cdot \frac{1}{3} = 0,022$
4	$0,155 \cdot \frac{0,34}{3} = 0,018$	$0,018 \cdot \frac{1}{4} = 0,0045$
5	$0,022 \cdot \frac{0,34}{4} = 0,002$	

Пятые члены получаются уже незначительными и потому ими можно пренебречь.

Полученные вектора строим в виде суммы для ряда  $V_a$  и  $I_a$ , учитывая во втором и последующих членах ряда напряжения поворот векторов на фазный угол рельсов ( $\varphi = 78^\circ$ ) (рис 78).

Замыкающие стороны суммы четырех членов каждого ряда дадут величины  $V_a$  и  $I_a$ ; они, измеренные в масштабе по рис. 78, равны:

$$V_a = 0,5V \text{ и } I_a = 1,315A.$$

Сравнивая полученные величины  $V_a$  и  $I_a$  с теми же величинами найденными в предыдущей задаче, мы видим почти полное совпадение, что объясняется небольшой длиной рельсовой цепи.

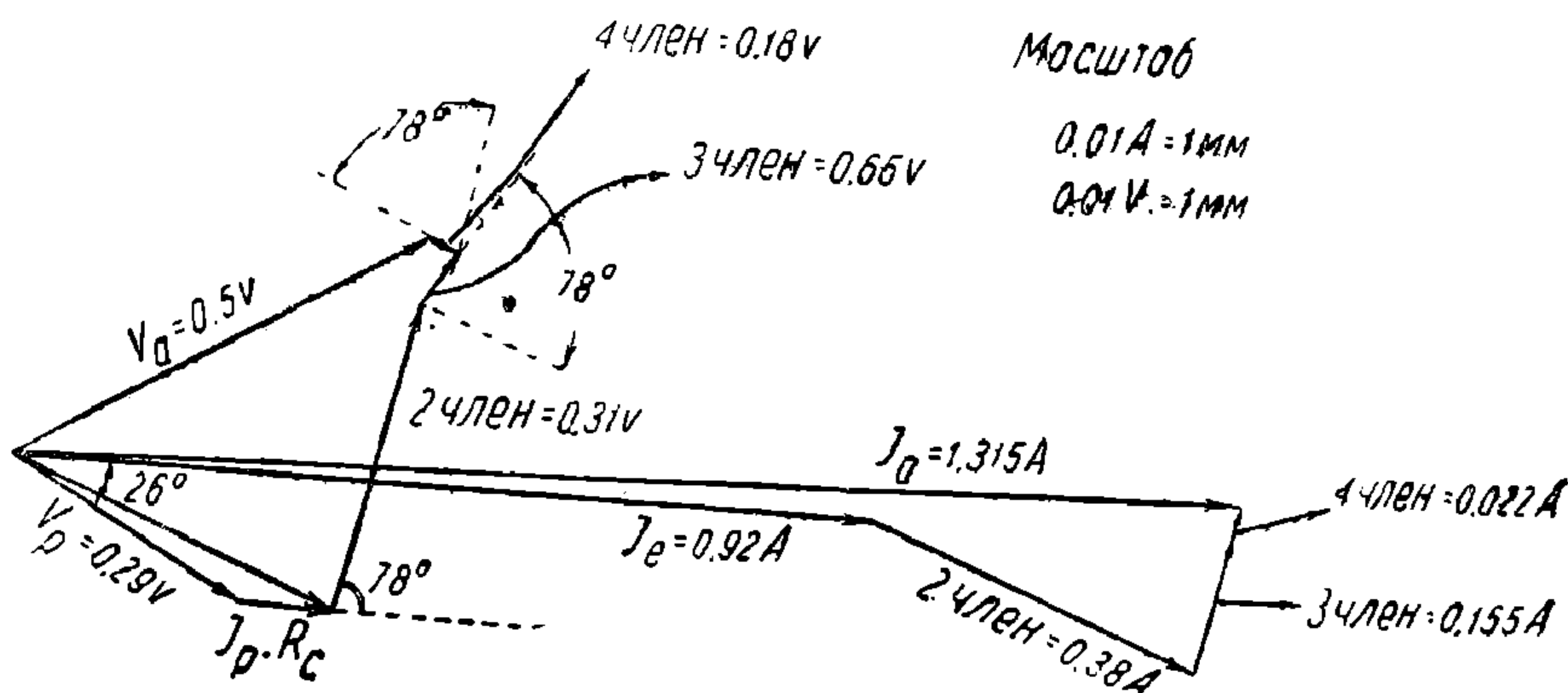


Рис. 78. Графический расчет по Льюису.

**Задача 89.** Имея полученные в задаче 87 соотношения фаз напряжений токов в рельсовой цепи, трансформаторе и реле (рис. 77), определить для случаев применения: а) реостата и б) реактора, насколько полученное соотношение фаз отличается от наиболее благоприятного, если известно, что для идеального соотношения фаз необходимо, чтобы напряжение путевой обмотки реле  $V_p$  отставало от напряжения местной обмотки на угол  $65^\circ$ , или магнитный поток путевой фазы отставал бы от путевого напряжения на  $88^\circ$  данные для местной обмотки следующие:

$$V_m = 110V; I_m = 0,4 \text{ и } \varphi_m = 63^\circ$$

*Решение.* Переносим с рис. 77 на рис. 79 расположение векторов:

$$V_m'', V_m', I_a I_p \text{ и } V_p.$$

Рассмотрим сперва случай, когда в качестве ограничивающего сопротивления включен реактор и когда напряжение на клеммах трансформатора получилось в виде вектора  $V_m''$ ; полагая, что фаза напряжения местной обмотки совпадает с фазой  $V_m''$ , мы, отложив в сторону отставания угол в  $65^\circ$ , получим направление вектора нап-

ряжения путевой обмотки для случая идеального соотношения фаз  $V_{p''}$ ; в действительности же мы имеем вектор напряжения путевой обмотки  $V_p$ , не совпадающим на угол  $\alpha'' = 9,5^\circ$  (в сторону отставания). К тому же заключению мы придем, если будем рассматривать магнитные потоки местной и путевой обмоток: вектор первого потока будет направлен под углом  $63^\circ$  к  $V_m$  или  $V_{m''}$ , а второго—под углом  $88^\circ$  к  $V_p$ ; по рис. 79 мы можем определить, что между векторами потоков будет угол в  $99,5^\circ$  вместо идеального в  $90^\circ$ , т. е. расхождение получится также в  $9,5^\circ$ .

Вследствие указанного расхождения вращающий момент  $M$  реле окажется равным  $\cos \alpha'' M_{\max}$  (максимального момента при идеальном соотношении фаз)

$$\text{При } \alpha'' = 9,5^\circ, M = \cos 9,5^\circ M_{\max} = 0,986 M_{\max}.$$

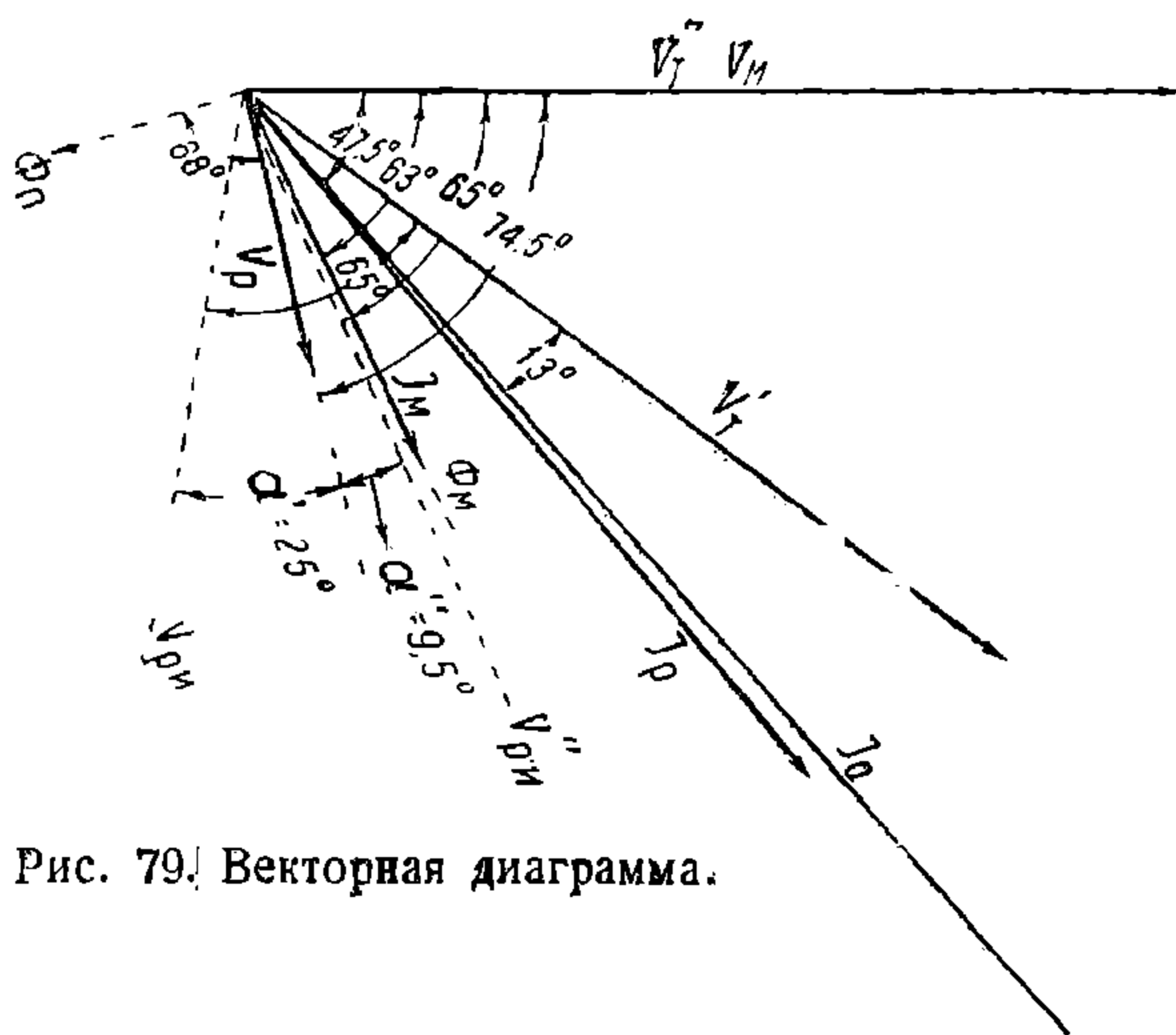


Рис. 79. Векторная диаграмма.

Для получения максимального вращающего момента требуется повысить потребление энергии в реле на ничтожную величину, именно:

$$\frac{1}{\cos 9,5^\circ} = \frac{1}{0,986} = 1,02 \text{ раз,}$$

повысив  $V_p$  с  $0,29V$  до  $0,29 \cdot 1,02 = 0,295V$ .

Для второго случая, когда в качестве ограничивающего сопротивления применен

реостат, выполняя аналогично предыдущие построения, находим, что между получившейся и идеальной фазой напряжения путевой обмотки ( $V_p$  и  $V_{p''}$ ) окажется расхождение на угол  $\alpha' = 25^\circ$ , что будет более неблагоприятно, чем получилось в первом случае; однако и это расхождение допустимо, так как при нем для получения максимального вращающего момента придется повысить напряжение всего до:

$$\frac{1}{\cos 25^\circ} \cdot 0,29 = 0,32V.$$

В релейных цепях, где имеются тяговые токи, могущие вызвать насыщение железа реактора, предпочтительно применять реостаты.

### Задача 90. Даны:

- длина рельсовой цепи  $l = 2,5 \text{ км}$ ;
- сопротивление рельсов  $z = 1,18 \text{ } \Omega/\text{км}$  при  $\phi = 40,5^\circ$
- проводимость утечки баласта  $g = 1,2 \text{ } \mathcal{S}/\text{км}$ ;

г) путевое реле полифазное с данными:

$$\begin{aligned} V_m &= 12V; & V_n &= 0,15V, \\ I_m &= 0,2A & I_n &= 0,25A, \\ \cos \varphi_m &= 0,4; \varphi_m &= 66,5^\circ & \cos \varphi_n = 0,65; \varphi_n = 49,5^\circ, \end{aligned}$$

Принимая утечку в рельсовой цепи равномерно распределенной, требуется: а) подобрать включение путевого трансформатора типа ПОВС, принимая  $V_m \leq 2V_n$  (указать №№ зажимов);

б) подобрать ограничивающее сопротивление (омическое или индуктивное), дающее наилучший эффект.

*Решение.* Сопротивление рельсов всего участка:

$$Z' = z \cdot l = 1,18 \cdot 2,5 = 2,95 \Omega.$$

Проводимость утечки всего участка:

$$G' = gl = 1,2 \cdot 2,5 = 3 \text{ в}.$$

Падение напряжения в соединительных проводах:

$$I_n \cdot R_c = 0,25 \cdot 0,08 = 0,02 \text{ V}.$$

Напряжение на релейном конце у рельсов:

$$V_e \cong V_n + I_n \cdot R_c \cong 0,15 + 0,02 = 0,17 \text{ V}.$$

В виду значительной длины рельсовой цепи, принимаем питание ее из середины; для расчета рельсовой цепи достаточно рассчитать одно плечо.

Сопротивление рельсов каждого плеча будет:

$$Z = \frac{Z'}{2} = \frac{2,95}{2} = 1,475 \Omega.$$

и проводимость утечки:

$$G = \frac{G'}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ в}.$$

Напряжение в точках присоединения питания к рельсам  $V_a$  получим по формуле ряда напряжения:

$$\overline{V_a} = \overline{V_e} + \overline{Z \cdot I_e} + \frac{Z}{2} \cdot \overline{G} \cdot V_e + \frac{Z}{3} \cdot \frac{G}{2} \cdot Z \cdot I_e, \dots$$

Подставляя в правую часть известные величины  $V_e$ ,  $I_e$ ,  $Z$  и  $G$ , получим:

$$\begin{aligned} V_a &= 0,17 + 1,475 \cdot 0,25 + \frac{1,475}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,17 + \frac{1,475}{3} \cdot \frac{1,5}{2} \cdot 1,475 \cdot 0,25 + \\ &+ \frac{1,475}{4} \cdot \frac{1,5}{3} \cdot \frac{1,475}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,17 + \dots = 0,17 + 0,37 + 0,188 + 0,136 + \\ &+ 0,034, \dots \end{aligned}$$

Ток для питания одного плеча  $I_a$  определяем по ряду тока:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_e + \bar{G} \cdot \bar{V}_e + \frac{G}{2} \cdot Z \cdot I_e + \frac{G}{3} \cdot \frac{Z}{2} \cdot G \cdot V_e \dots$$

После подстановки известных величин получим:

$$I_a = 0,25 + 1,5 \cdot 0,17 + \frac{1,5}{2} \cdot 1,475 \cdot 0,25 + \frac{1,5}{3} \cdot \frac{1,475}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,17 + \\ + \frac{1,5}{4} \cdot \frac{1,475}{3} \cdot \frac{1,5}{2} \cdot 0,25 = 0,25 + 0,255 + 0,278 + 0,095 + 0,014 \dots$$

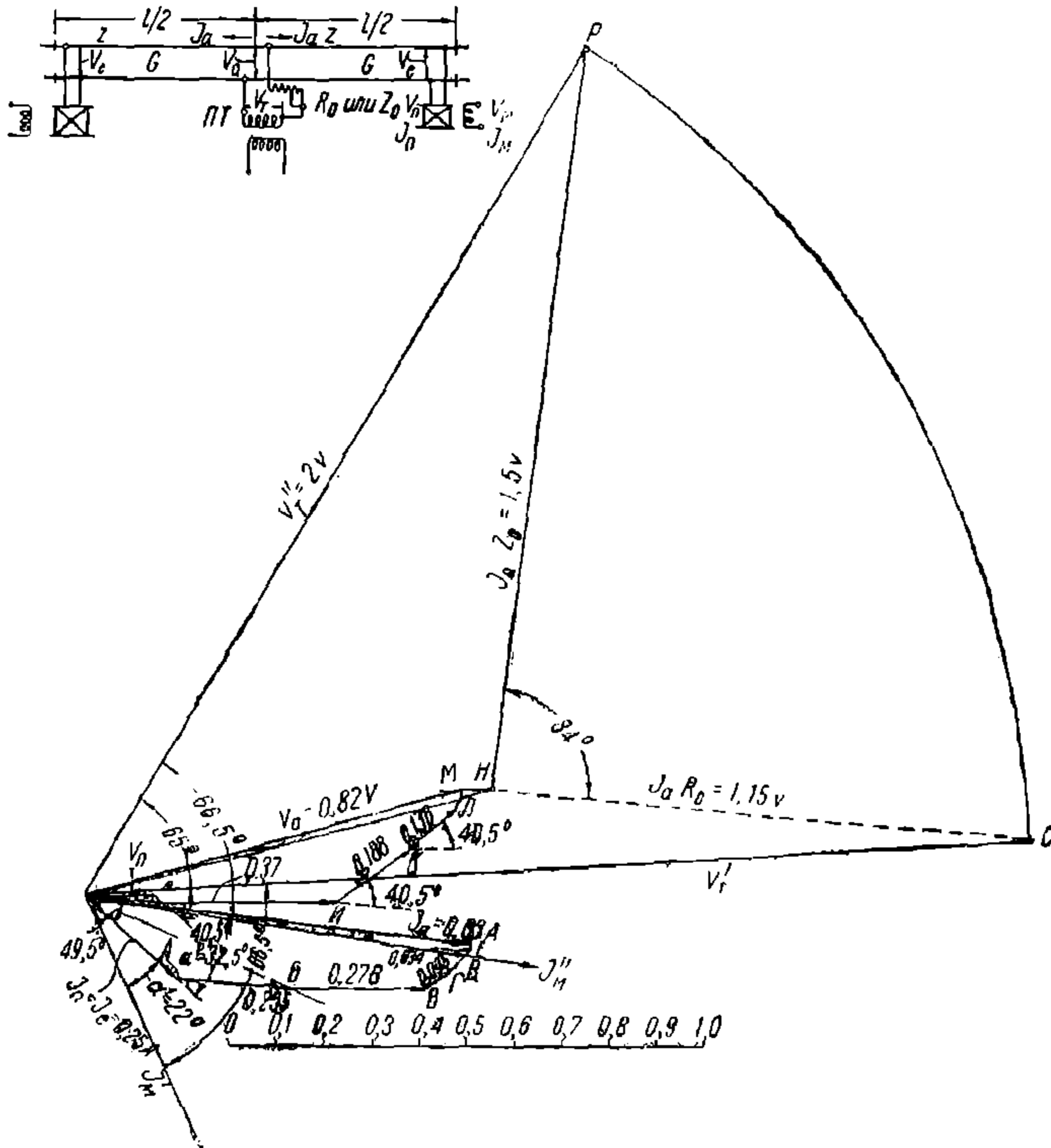


Рис. 80. Графический расчет по Льюису.

Полученные ряды векторов напряжения и тока строим в виде многоугольников  $OABVГДЕ$  и  $OИКЛМ$  (рис. 80); замыкающие стороны этих многоугольников  $OE$  и  $OM$  будут представлять по величине и направлению искомого вектора  $I_a$  и  $V_a$ . Так как  $V_m \geq 2V_a$ , то  $V_m$  должно быть не менее 1,64; выбираем зажимы трансформатора  $3T - 1S$  с переключкой  $4T - 2S$ , дающие напряжения 2V; реактор берем  $\cos \varphi_0 = 0,1$ ;  $\varphi_0 = 84^\circ$ .

Прибавим к  $V_a$  падение напряжения в соединительных проводах:

$$I_a \cdot R_0 = 0,83 \cdot 0,08 = 0,66V;$$

из точки  $H$  под углом  $84^\circ$  проводим линию до пересечения с другой, описанной радиусом  $V_m = 2V$ ; вектор  $HP = I_a \cdot Z_0 = 1,5 V$ ; продолжив линию  $MH \parallel OE$ , найдем:

$$I_a R_0 = 1,15 V.$$

Ограничивающее сопротивление может быть: индуктивное (реактор) с

$$Z_0 = \frac{1,5}{0,83} \cong 1,8 \Omega;$$

и омическое (реостат) с

$$R_0 = \frac{1,15}{0,83} = 1,39 \Omega.$$

Однако в виду того, что через ограничивающее общее сопротивление будет протекать ток  $2I_a$ , то надо величину его сопротивления взять вдвое меньше (т. е.  $\frac{Z_0}{2}$  или  $\frac{R_0}{2}$ ). Для выбора лучшего вида сопротивления находим углы тока путевой обмотки  $I_n$  с током местной обмотки ( $I_n'$  или  $I_n''$ ).

В первом случае (при реостате)  $\alpha' = 22^\circ$ , во втором случае  $\alpha'' = 32,5^\circ$ , вместо  $90^\circ$  для идеального соотношения фаз. Более благоприятным получается сдвиг фаз при реакторе, но и он не удовлетворителен. Увеличить его можно повышением  $V_m$  за счет повышения расхода энергии.

**Задача 91.** Дана рельсовая цепь, длиной  $l = 1,5$  км на электрифицированной железной дороге; данные рельсовой цепи: сопротивление рельсов —  $z = 0,76 \Omega/\text{км}$  при фазном угле  $\varphi = 72^\circ$ , сопротивление баласта  $r_b = 1,2 \Omega/\text{км}$ . В рельсовой цепи применены:

а) путевое реле с рабочим напряжением путевой обмотки  $V_n = 0,29 V$  и током  $I_n = 0,92 A$  при угле  $\varphi_n = -26^\circ$ ;

б) стыковой дроссель с сопротивлением  $Z_g = 0,42 \Omega$  и  $\cos \varphi_g = 0,2$  ( $\varphi_g = 78,5^\circ$ ). Определить, какой ток и напряжение должны подаваться от путевого трансформатора ПТ к рельсам питающего конца цепи.

**Решение.** Строим вектора  $V_n$  и  $I_n$  под углом  $-26^\circ$  (рис. 81). Прибавив к  $V_n$  вектор падения напряжения в соединительных проводах  $I_n \cdot R_e = 0,92 \cdot 0,1 = 0,092 V$ , находим  $V_e = 0,375 V$ . Под напряжением  $V_e$  будет также находиться дроссель  $D_1$ , вследствие чего ответвится ток:

$$I_g' = \frac{V_e}{Z_g} = \frac{0,375}{0,42} = 0,9 A,$$

составляющий угол  $\varphi_g$  ( $78,5^\circ$ ) с  $V_e$ .

Построив вектор  $I_g'$  и сложив его с  $I_n$ , находим ток  $I_e$ , который должен быть подан на релейный конец.



Имея  $V_e$  и  $I_e$ , ищем  $V_a$  и  $I_a$ ; для этого воспользуемся приближенным графо-аналитическим способом, по которому:

$$\overline{V_a} = \overline{V_e} \cdot A + \overline{I_e} \cdot Z \cdot B$$

и

$$I_a = \overline{I_e} \cdot A + \overline{V_e} \cdot G \cdot B,$$

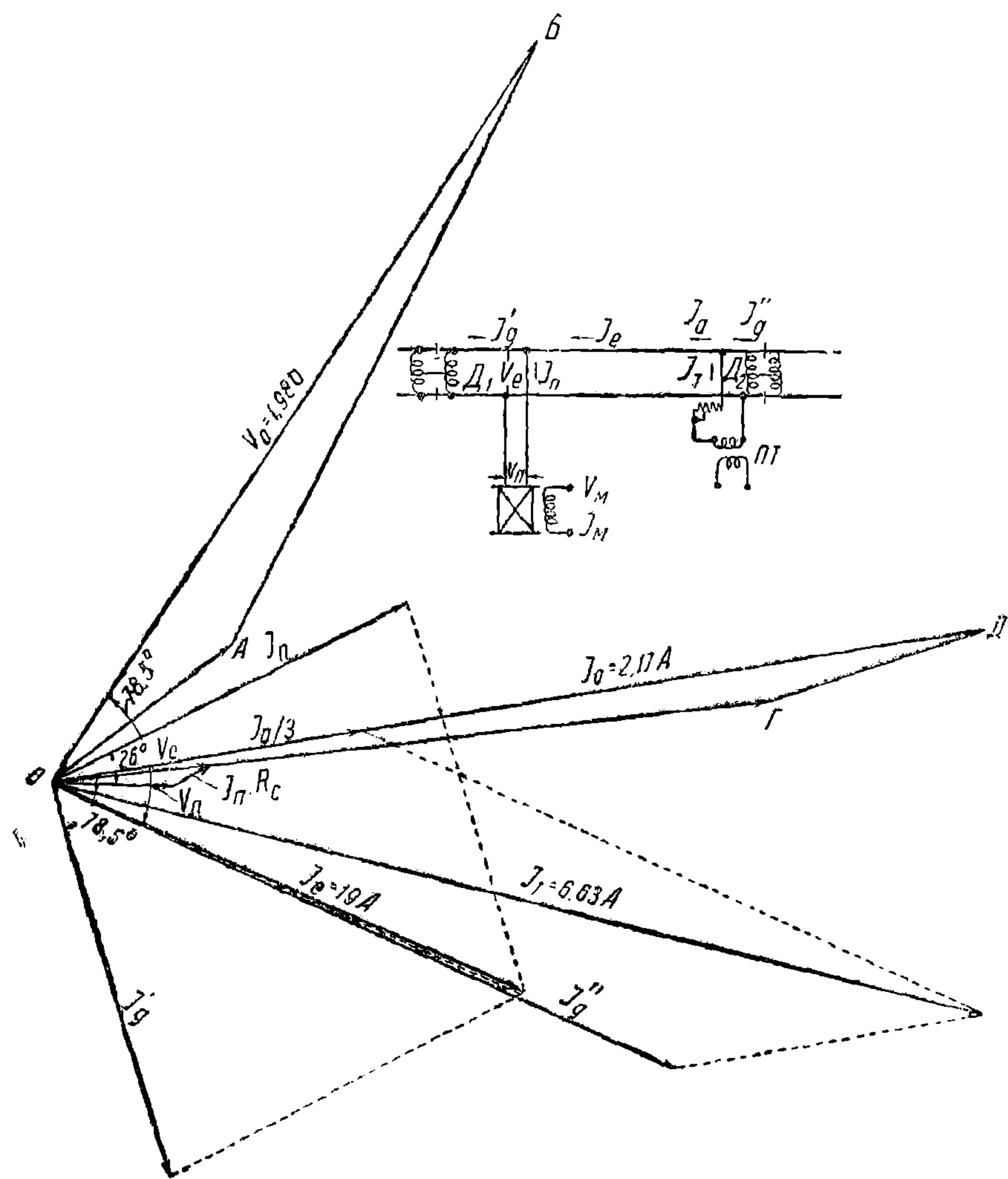


Рис. 81. Графическое решение задачи 91.

где коэффициенты:

$$A = \left(1 + \overline{Z} \cdot \frac{G}{2}\right)$$

и

$$B = \left(1 + \frac{\overline{Z} \cdot G}{6}\right).$$

НТБ  
ДНУЖТ

Для заданной рельсовой цепи сопротивление рельсов равно:

$$Z = z \cdot l = 0,76 \angle 72^\circ \cdot 1,5 = 1,14 \angle 72^\circ;$$

проводимость утечки:

$$G = gl = \frac{1}{1,2} \cdot 1,5 = 1,25 \angle 0^\circ.$$

Подставляя  $Z$  и  $G$  в выражения для  $A$  и  $B$ , получим:

$$A = \left(1 + \frac{1,14 \cdot \angle 72^\circ \cdot 1,25}{2}\right) = (1 + 0,712 \angle 72^\circ)$$

и

$$B = \left(1 + \frac{1,14 \cdot \angle 72^\circ \cdot 1,25}{6}\right) = (1 + 0,237 \angle 72^\circ).$$

Для того, чтобы произвести сложение в скобках для  $A$  и  $B$ , превращаем выражение  $0,712 \angle 72^\circ$  и  $0,237 \angle 72^\circ$  в комплексные вида  $(a + j \cdot b)$ , пользуясь графиком приложения V, получаем:

$$A = (1 + 0,23 + j \cdot 0,68) = 1,23 + j \cdot 0,68,$$

и

$$B = (1 + 0,08 + j \cdot 0,23) = 1,08 + j \cdot 0,23.$$

Последнее выражение, снова пользуясь графиком приложения V, превращаем в выражения типа  $C \angle \varphi^\circ$  и получаем:

$$A = 1,4 \angle 29^\circ \text{ и } B = 1,1 \angle 12^\circ.$$

Подставляя найденные значения коэффициентов в уравнения для определения  $V_e$  и  $I_e$ , находим:

$$\begin{aligned} V_e &= V_e \cdot 1,4 \angle 29^\circ + I_e \cdot 1,14 \angle 72^\circ \cdot 1,1 \angle 12^\circ = \\ &= V_e \cdot 1,4 \angle 29^\circ + I_e \cdot 1,255 \angle 84^\circ \end{aligned} \quad (124)$$

$$\begin{aligned} I_e &= I_e \cdot 1,4 \angle 29^\circ + V_e \cdot 1,25 \cdot 1,1 \angle 12^\circ = \\ &= I_e \cdot 1,4 \angle 29^\circ + V_e \cdot 1,375 \angle 12^\circ. \end{aligned} \quad (125)$$

Стоящие в правых частях уравнений (124) и (125) члены будут представлять вектора ( $V_e$  или  $I_e$ ), умноженные на комплексы ( $1,4 \angle 29^\circ$  и др.); такое умножение, как известно, в результате дает новый вектор, равный по величине произведению модулей и повернутый на угол, равный аргументу комплекса. На основании этого делаем построение для нахождения  $V_e$ : строим вектор  $OA$ , равный по величине  $V_e \cdot 1,4$  и повернутый на  $29^\circ$  против часовой стрелки по отношению к нему; затем к  $OA$  прибавляем вектор  $AB$ , равный  $I_e \cdot 1,255$  и повернутый по отношению к  $I_e$  на угол  $84^\circ$ ;

замыкающий вектор  $OB$  и будет изображать  $V_a$  по величине и направлению. Подобным же построением находим

$$I_a = OD = 2,17 \text{ А.}$$

На питающем конце под напряжением  $V_a = 1,98 \text{ В}$  окажется также дроссель  $D_2$ , почему через него ответвится ток

$$I_g'' = \frac{V_a}{Z_g} = \frac{1,98}{0,42} = 4,72 \text{ А.}$$

Трансформатор должен давать рельсовую цепь ток  $\bar{I}_m = \bar{I}_g'' + \bar{I}_a$ ; этот ток находим построением, проведя  $I_g''$  под углом  $78,5^\circ$  к  $V_a$ ;

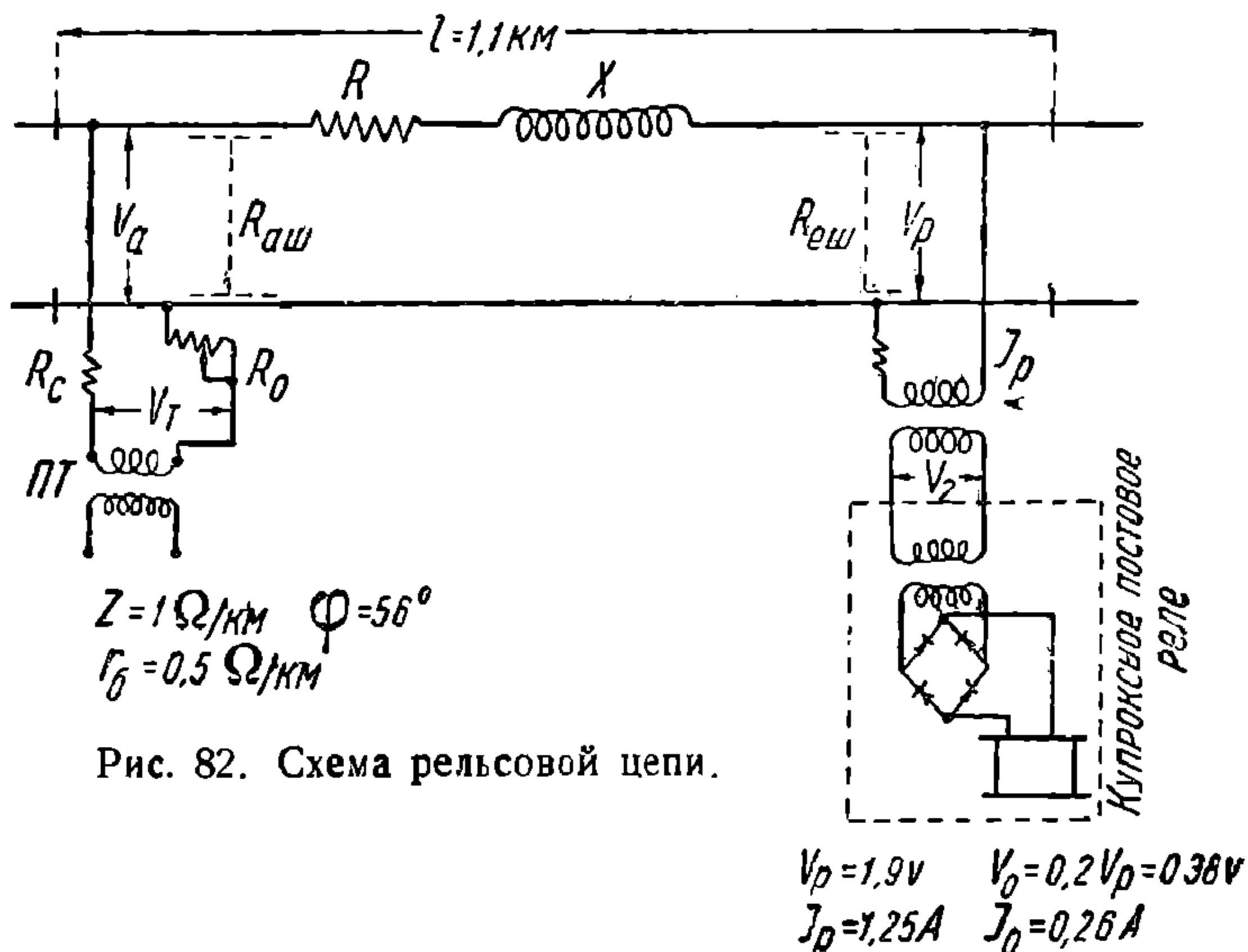


Рис. 82. Схема рельсовой цепи.

для сокращения рисунка для этого сложения уменьшаем масштаб токов втрое; таким образом, сложив  $I_a$  и  $I_g''$ , получим результирующий ток:

$$I_m = 6,63 \text{ А.}$$

**Задача 92.** В рельсовой цепи, показанной на рис. 82, включено купроксное постовое реле с данными, приведенными на том же рисунке. Рассчитайте данную цепь, считая утечку равномерно распределенной, и проверьте ее на шунтовой эффект при нахождении поезда на релейном и на питающем концах.

**Решение.** Расчет делаем по методу Льюиса. Сопротивления рельсов и проводимость утечки будут равны:

$$Z = z \cdot l = 1,1 \Omega \angle 56^\circ; R = 0,615 \Omega \text{ и } X = 0,912 \Omega;$$

$$G = g \cdot l = \frac{1}{0,5} \cdot 1,1 = 2,2 \Omega.$$

По формулам (118) и (119) имеем:

$$\begin{aligned} \overline{V_a} = \overline{V_0} + \overline{Z \cdot I_0} + \frac{\overline{Z}}{2} \cdot \overline{G} \quad \overline{V_0} + \frac{\overline{Z}}{3} \cdot \frac{\overline{G}}{2} \quad \overline{Z} \cdot \overline{I_0} + \\ + \frac{\overline{Z}}{4} \cdot \frac{\overline{G}}{3} \cdot \frac{\overline{Z}}{2} \cdot \overline{G} \cdot \overline{V_0}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_a = \overline{1,9} + \overline{1,1 \cdot 1,25} + \frac{1,1}{2} \cdot \overline{2,2} \cdot 1,9 + \frac{1,2}{3} \cdot \frac{\overline{2,2}}{2} \cdot \overline{1,1} \cdot 1,25 + \\ + \frac{1,1}{4} \cdot \frac{\overline{2,2}}{3} \cdot \frac{1,1}{2} \cdot \overline{2,2} \cdot 1,9 \quad = \overline{1,9} + \overline{1,37} + \overline{2,3} + \\ + \overline{0,555} + \overline{0,453}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{I_a} = \overline{I_0} + \overline{G \cdot V_0} + \frac{G}{2} \cdot \overline{Z} \cdot \overline{I_0} + \frac{G}{3} \cdot \frac{\overline{Z}}{2} \cdot \overline{G} \cdot \overline{V_0} + \frac{G}{4} \cdot \frac{\overline{Z}}{3} \cdot \frac{\overline{G}}{2} \cdot \overline{Z} \cdot \overline{I_0} \quad = \\ = \overline{1,25} + \overline{2,2 \cdot 1,9} + \frac{2,2}{2} \cdot \overline{1,1} \cdot 1,25 + \frac{2,2}{3} \cdot \frac{\overline{1,1}}{2} \cdot \overline{2,2} \cdot \overline{1,9} + \\ + \frac{2,2}{4} \cdot \frac{\overline{1,1}}{3} \cdot \frac{2,2}{2} \cdot \overline{1,1} \cdot \overline{1,25} \quad = \overline{1,25} + \overline{2,18} + \overline{1,51} + \\ + \overline{1,69} + \overline{0,305} \end{aligned}$$

Строим приведенные ряды напряжения и тока (рис. 83); по масштабу определяем

$$V_a = 5,45\text{В} \quad \text{и} \quad I_a = 7,35\text{А}.$$

Выбираем  $V_m \cong 11\text{В}$  и находим напряжение, поглощаемое в омическом сопротивлении:

$$I_a \cdot R_0 = 5,95\text{В},$$

откуда:

$$R_0 = \frac{5,95}{7,35} = 0,815 \Omega$$

(треугольник  $OAB$  построен с уменьшенным вдвое масштабом напряжения).

Теперь проверим шунтовой эффект, полагая, что поезд с  $R_{ш} = 0,06 \Omega$  находится на релейном конце. При напряжении отпадения  $V_0 = 0,2V_p = 0,2 \cdot 1,9 = 0,38\text{В}$ , через поездной шунт  $R_{ш}$  пройдет ток:

$$I_{ш} = \frac{V_0}{R_{ш}} = \frac{0,38}{0,06} = 6,34\text{А};$$

складывая этот ток с  $I_0$  (рис. 84), найдем графически полный ток

$$\overline{I_{сш}} = \overline{I_{ш}} + \overline{I_0} = 6,45\text{А}.$$

При прохождении полного тока  $I_{\text{пол}}$  по рельсам и реостату произойдет падение напряжения:

а) омическое в рельсах

$$V_1 = I_{\text{пол}} \cdot R = 6,45 \cdot 0,615 = 3,97V;$$

б) индуктивное в рельсах

$$V_2 = I_{\text{пол}} \cdot X = 6,45 \cdot 0,912 = 5,88V;$$

в) омическое в реостате

$$V_3 = I_{\text{пол}} \cdot R_0 = 6,45 \cdot 0,815 = 5,26V.$$

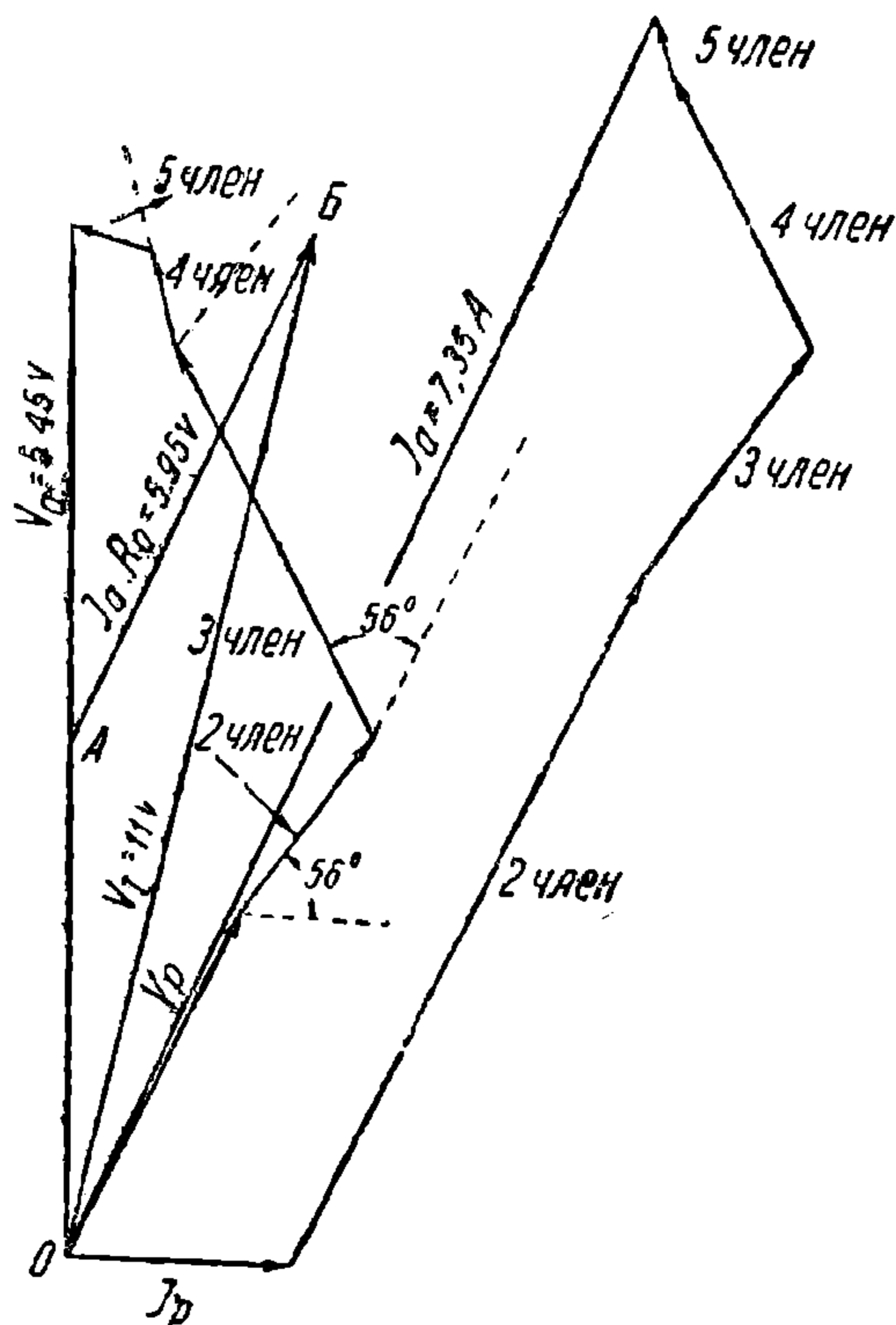


Рис. 83. Графический расчет по Льюису.

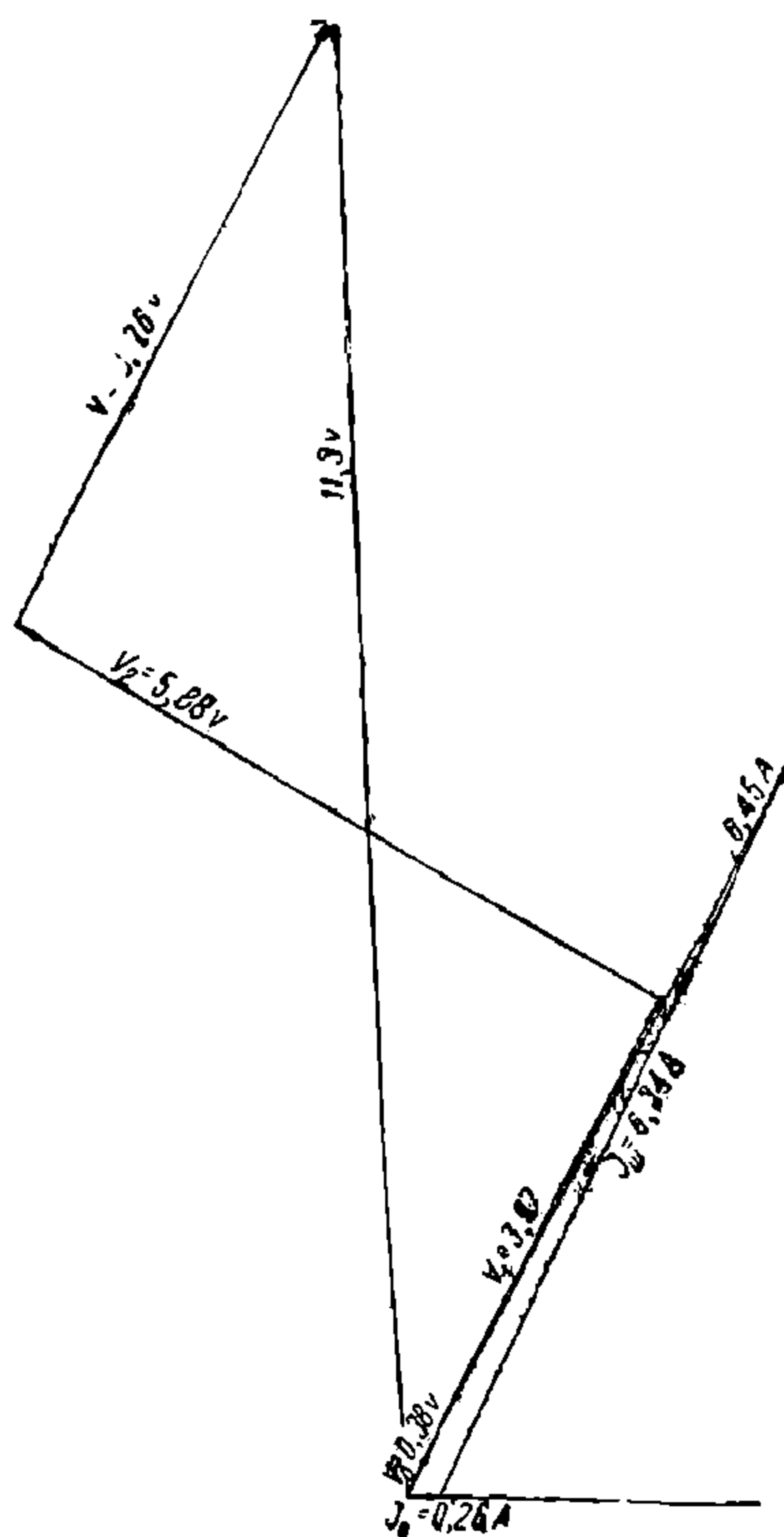


Рис. 84. Графический расчет шунта.

Прибавив эти падения напряжения к  $V_0$ , получим результирующее напряжение на трансформаторном конце  $V_{\text{тн}} = 11,3V$ ; это напряжение очень близко к напряжению ( $11V$ ), установленному ранее для незанятой рельсовой цепи; поэтому предельный поездной шунт, обеспечиваемый рельсовой цепью, весьма близок к принятому  $0,06 \Omega$ . Для проверки шунтового эффекта на трансформаторном конце находим напряжение на нем при прохождении тока отпадания  $I_0$  оно будет равно:

$$\begin{aligned} \overline{V_{\text{тн}}} = \overline{V_0} + I_0 (\overline{R + R_0}) + \overline{I_0 \cdot X} = 0,38 + 0,26 \cdot (0,615 + 0,1) + \\ + 0,26 \cdot 0,912; \end{aligned}$$

построив приведенные векторы (рис. 85), находим

$$V_{аш} = 0,68V;$$

при этом напряжении через поездной шунт  $0,06 \Omega$  пройдет ток:

$$I_{аш} = I_{ш} + I_0;$$

построением на рис. 85 он определен в  $11,45 A$ . При этом токе в реостате будет поглощено

$$I_{аш} \cdot R_0 = 11,45 \cdot 0,815 = 9,33 V.$$

Полное напряжение на клеммах трансформатора будет равно:

$$V_{тш} = V_{аш} + I_{аш} \cdot R_0;$$

из построения на рис. 85 находим

$$V_{тш} = 10 V;$$

отсюда следует, что в рельсовой цепи на питающем конце заданный поездной шунт не обеспечен.

Величина обеспечиваемого поездного шунта приближенно будет следующая: напряжение, которое надо поглотить в реостате, равно:

$$11 - 0,68 = 10,32V;$$

следовательно, ток через него должен проходить:

$$\frac{10,32}{0,815} = 12,17A;$$

через поездной шунт должен проходить приближенно ток:

$$12,17 - 0,26 = 11,91A;$$

Так как этот ток создается напряжением  $V_{ш} = 0,68V$ , то

$$R_{ш} = \frac{0,68}{11,91} = 0,057 \Omega.$$

### Варианты заданий к условию задачи 92.

Проверьте шунтовой эффект в рельсовых цепях, рассчитанных в задачах: 86; 87 и 90.

**Задача 93.** Рассчитайте величину защитных от тяговых токов сопротивлений для реле и трансформатора, установленных в одно-

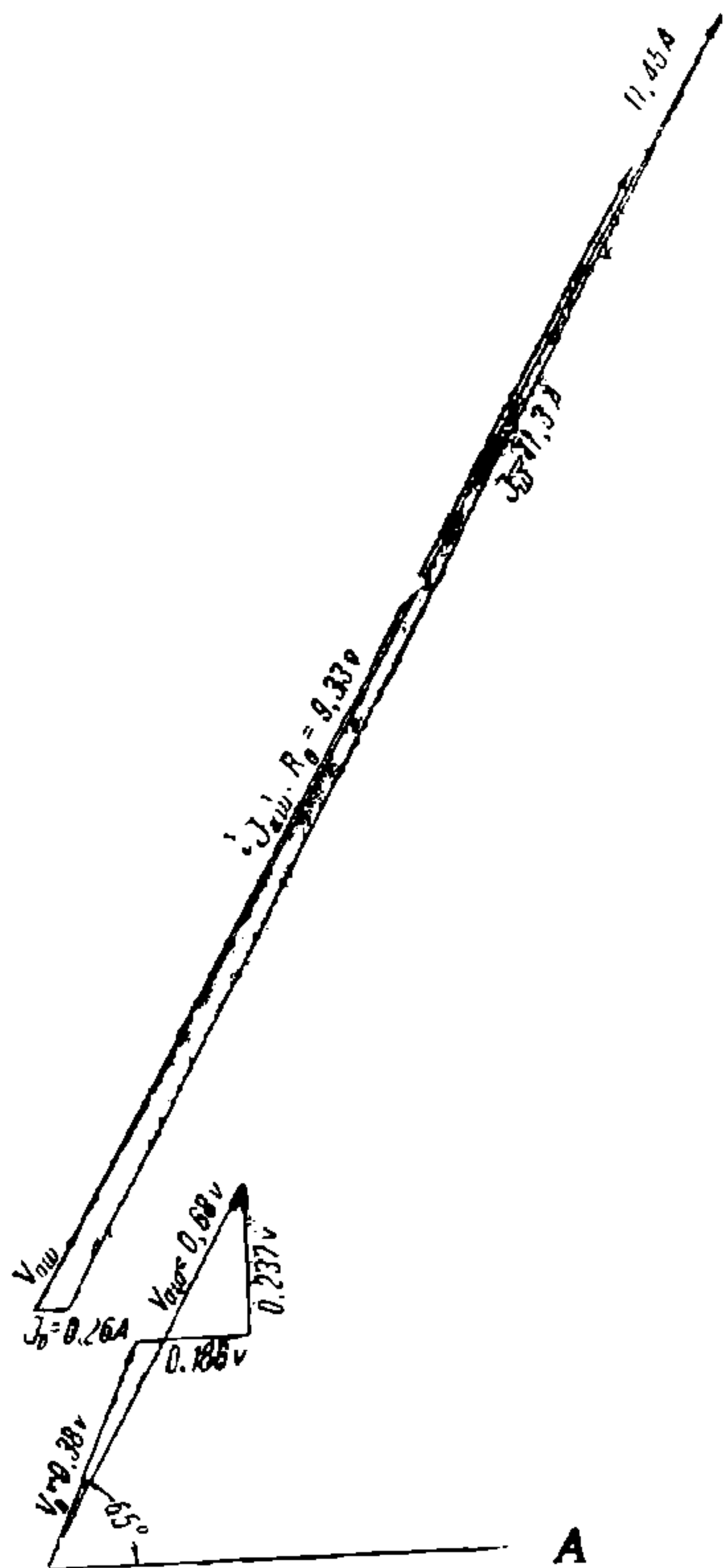


Рис. 85. Графический расчет поездного шунта.

рельсовой цепи переменного тока длиной  $l = 0,45$  км из рельсовых звеньев типа Ia длиной в 15 м, принимая, что:

а) максимальная сила тягового тока  $I_m = 900$  А;

б) сопротивление рельсовых стыков  $S$  эквивалентно сопротивлению 3 м цельного рельса;

в) обмотки реле и трансформатора, включенные в рельсовую цепь, могут выдержать без ущерба уравнительный (сверх нагрузки) ток до 5А.

*Решение.* На данной длине рельсовой цепи будет:  $\frac{450}{15} - 1 = 29$  стыков, сопротивление которых будет равно сопротивлению  $29 \cdot 3 = 87$  м рельсов. Сопротивление рельсов для тягового тока в пределах рельсовой цепи будет равно:

$$\left( \frac{450 + 87}{1000} \right) \cdot 0,0362 = 0,0195.$$

При прохождении тягового тока в 900А на концах указанного рельса создается разность потенциалов:

$$V = 900 \cdot 0,0195 \text{ А} = 17,5 \text{ В}.$$

При допустимой величине уравнительного тока до 5А требуется подключить защитные сопротивления на  $\frac{17,5}{5} = 3,5 \Omega$ ; округляя их величину до 4  $\Omega$ , распределяем их поровну (по 2  $\Omega$ ) у реле и у трансформатора.

### Варианты заданий к условию задачи 93

№№ вар.	$l$ км	Тип рельсов	$I_m$ А	$S$ м	Допустимая величина уравни. тока	Длина рельсовых звеньев м
1	0,5	IIa	750	2,6	5А	12,5
2	0,4	IIa	1000	2,5	6А	12,5
3	0,6	Ia	1000	2,6	6А	15
4	0,65	Ia	900	3	5А	15

### ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахнин. Автоматическая блокировка. Энергоиздат, 1933, стр. 179 — 192.
2. Равич, Голонский, Кутьин и Озолинг. Автоблокировка. Трансжелдориздат, 1934, стр. 117 — 132.
3. Таттерсал. Основы современной железнодорожной сигнализации. Кубуч, 1932, стр. 79 — 92.

## XII РАСЧЕТЫ ПИТАНИЯ И ПРОВОДОВ

При расчетах питания и проводов в основном пользуются общеизвестными формулами электротехники и расчета сетей. Из специфических формул приводим нижеследующие:

1) определение тока саморазряда аккумуляторов:

$$I = \frac{E \cdot n}{24 \cdot 100}; \quad (126)$$

где  $E$  — емкость аккумулятора в амперчасах и  $n$  — коэффициент, равный 1 — 1,3;

2) определение емкости ( $E_1$ ) аккумуляторов при токе разряда  $I_1$ , отличном от тока  $I$ , для которого дана емкость  $E$ :

$$E_1 = E \left( \frac{I}{I_1} \right)^{n-1}, \quad (127)$$

где  $n$  — коэффициент, равный 1,25 — 1,3;

3) определение емкости линии трехфазного тока:

$$C = \frac{0,02414}{\lg \left( \frac{2a}{d} \right)} \text{ мФ/км}, \quad (128)$$

где  $a$  — расстояние проводов и  $d$  — диаметр их:

4) определение емкости для суточной работы аккумуляторных батарей электрической централизации.

а) Рабочий ток:

$$E_1 = 0,00278 a_1 \cdot n \text{ Ah}. \quad (129)$$

б) Контрольный ток:

$$E_2 = a_2 (1,2 + 0,00167n) + 0,0276p + 4,8 \text{ Ah}, \quad (130)$$

где:

$a_1$  — число стрелок,

$a_2$  — число стрелочных рукояток,

$n$  — число переводов стрелки в сутки,

$p$  — число устанавливаемых в сутки маршрутов.



**Задача 94.** Подсчитайте емкость путевой батареи из первичных элементов с деполяризирующим воздухом для рельсовой цепи, длиной  $l = 0,8$  км, если известно, что:

- а) пропускная способность однопутного участка — 40 пар поездов;
- б) средняя длина поезда  $l_n = 700$  м;
- в) средняя скорость движения  $V = 24$  км/ч;
- г) средний расход тока при свободном состоянии рельсовой цепи  $I_a = 0,6$  А;
- д) ограничивающее сопротивление  $R_0 = 1,1$  Ω.

При этом должна быть учтена невозможность смены батареи в холодное время года, принимаемое равным 5 месяцам.

*Решение.* Время шунтированного состояния рельсовой цепи одним поездом равно:

$$t = \frac{(l + l_n)}{24} = \frac{1,5}{24} = 0,0625 \text{ час,}$$

а 40 парами поездов:

$$T = t \cdot 2 \cdot 40 = 80 \cdot 0,0625 = 5 \text{ часов.}$$

Для элемента с деполяризирующим воздухом можем считать среднее напряжение равным  $1,1$  V; при таких условиях ток шунтирования будет приближенно:

$$I_{ш} = \frac{1,1}{R_0} = \frac{1,1}{1,1} = 1 \text{ А;}$$

Следовательно, расход тока в сутки при шунтированном состоянии рельсовой цепи составит  $5 \cdot 1 = 5$  Ah.

При свободном состоянии цепи расход в сутки составит:

$$(24 - 5) \cdot 0,6 = 11,4 \text{ Ah.}$$

Всего расход тока в сутки составит:

$$11,4 + 5 = 16,4 \text{ Ah.}$$

Учитывая смену батарей не чаще одного раза в 5 месяцев, найдем потребную емкость путевой батареи равной:

$$16,4 \cdot 30 \cdot 5 = 2460 \text{ Ah.}$$

Применяя элементы по 1000 Ah, мы должны будем для путевой батареи взять:

$$\frac{2460}{1000} \cong 3 \text{ параллельно включенных элемента.}$$

**Задача 95.** Подсчитать, насколько будет выгодно предварительное зажигание сигналов за один блок-участок до подхода к сигналу поезда и при гашении после прохода за ограждающий светофор занятого блок-участка при следующих данных; на про-

ходном светофоре применена лампа в 15 W при 12 V; пропускная способность однопутного участка—в 80 поездов в сутки в обоих направлениях. Длина поезда  $l_2 = 800$  м и скорость на подъеме  $V_1 = 18$  км/ч и на уклоне  $V_2 = 50$  км/ч;

Средняя длина блок-участка на подъеме  $l_1 = 0,75$  км и на уклоне  $l_2 = 1,4$  км.

*Решение.* При отсутствии предзажигания светофором потреблялось бы в сутки:

$$\frac{15}{12} \cdot 24 = 30 \text{ Ah.}$$

При предварительном же зажигании светофор будет потреблять при горении:

а) для 40 поездов, идущих на подъем:

$$\frac{0,75 + 0,8}{18} \cdot 40 = 3,44 \text{ часа;}$$

б) для 40 поездов, идущих под уклон:

$$\frac{1,4 + 0,8}{50} \cdot 40 = 1,76 \text{ часа;}$$

всего же светофор будет гореть:

$$3,44 + 1,76 = 5,2 \text{ часа.}$$

Таким образом введение предзажигания при заданных условиях сократит расход энергии на освещение светофора в

$$\frac{24}{5,2} = 4,61 \text{ раза,}$$

т. е. будет потребляться в сутки

$$30 : 4,61 = 6,5 \text{ Ah.}$$

Так как кроме сокращения расхода энергии при предзажигании сократится также и расход на замену ламп, то введение его при благоприятных условиях (особенно при первичных элементах) целесообразно и выгодно.

**Задача 96.** Определите, сколько элементов с воздушной деполяризацией потребуется последовательно включить для питания светофорной лампы 15W, 12 V, если последовательно с лампой включено указательное реле сопротивлением 0,275  $\Omega$  и подвод тока к лампам длиной 12 м осуществлен проводом в 2,5 мм<sup>2</sup>. Напряжение у клемм лампы не должно превосходить 12 V

*Решение.* Сопротивление одного метра провода сечением 2,5 мм<sup>2</sup>  $\cong 0,007 \Omega$ ; следовательно, сопротивление подводящих проводов будет:

$$0,007 \cdot 2 \cdot 12 = 0,168 \Omega,$$

а вместе с реле:

$$0,168 + 0,275 = 0,443 \Omega.$$

При силе тока для лампы

$$\frac{15}{12} = 1,25A$$

падение в проводах и реле составит:

$$0,443 \cdot 1,25 = 0,55V.$$

Так как напряжение у лампы будет  $V_{\max} = 12V$ , то у батареи должно быть максимально  $12,55V$ ; принимая максимальное напряжение элемента  $1,25V$ , найдем потребное число элементов:

$$n = \frac{12,55}{1,25} = 10.$$

**Задача 97.** Определить средний ток саморазряда аккумулятора ЖЗЗ—IIА емкостью в  $72Ah$ , принимая потерю емкости в сутки равной  $1,25\%$  при  $T = 15^\circ C$ .

*Решение.* Потеря емкости в сутки составит:

$$\frac{72 \cdot 1,25}{100} = 0,9Ah,$$

следовательно, средний ток саморазряда будет:

$$\frac{0,9}{24} = 0,0375A.$$

**Задача 98.** Через сколько суток аккумулятор емкостью в  $72Ah$  понизит свою емкость до  $\frac{1}{4}$ , если полагать, что процент потери емкости постоянен и составляет  $1,25\%$ .

*Решение.* Подсчет ведется по формуле сложных процентов:

$$A = a \left(1 - \frac{P}{100}\right)^t,$$

в которую надо подставить  $A = \frac{a}{4}$  и  $P = 1,25\%$ ; подставив, получим:

$$\frac{a}{4} = a \left(1 - \frac{1,25}{100}\right)^t \quad \text{или} \quad \frac{1}{4} = 0,25 = (0,9875)^t;$$

логарифмируя последнее выражение, получим:

$$t \cdot \lg 0,9875 = \lg 0,25,$$
$$t = \frac{\lg 0,25}{\lg 0,9875} = 72,5 \text{ суток.}$$

**Задача 99.** Аккумулятор ЖЗЗ—IVА емкостью 144 Аh при 10-часовом разряде разряжается во время аварии питающей линии в течение 48 часов; определить, какую емкостью он будет обладать при указанных условиях разряда.

*Решение.* Для решения пользуемся формулой (127).

Ток при 10-часовом разряде  $I = \frac{144}{10} = 14,4 \text{ А}$  и при 48-часовом разряде  $I_1 = \frac{144}{48} = 3 \text{ А}$ .

Подставляя величины токов и емкость при 10-часовом разряде  $E = 144 \text{ Аh}$  в формулу (127), будем иметь:

$$E_1 = E \left( \frac{I}{I_1} \right)^{n-1} = 144 \left( \frac{14,4}{3} \right)^{n-1}$$

принимая  $n = 1,25$ , получим:

$$E_1 = 144 \cdot \left( \frac{14,4}{3} \right)^{1,25-1} \cong 144 \cdot 1,48 \cong 214 \text{ Аh}.$$

**Задача 100.** На рис. 86 показано плечо линии передачи для питания сигналов перегона АБ. Определите:

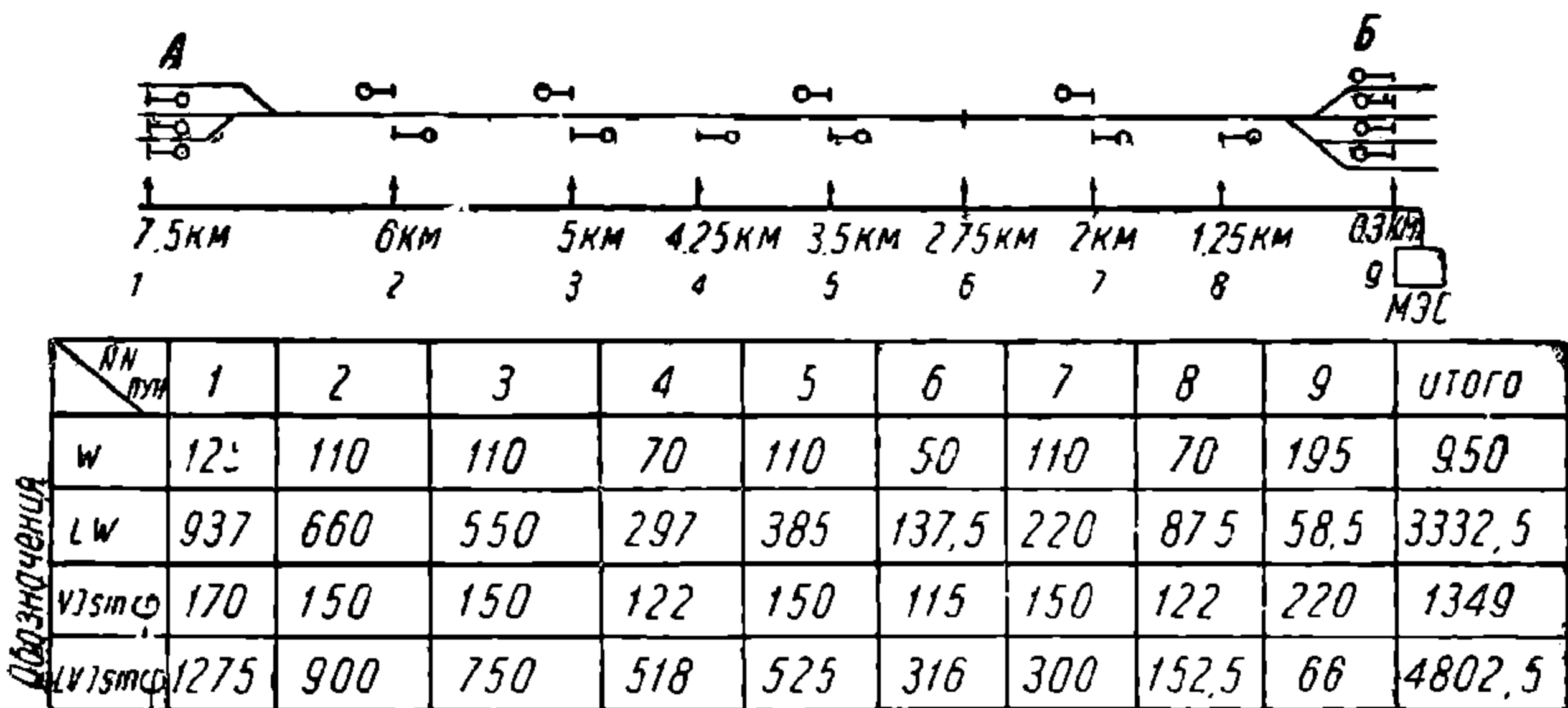


Рис. 86. Схема линии передачи.

- полную ваттную и безваттную нагрузок плеча;
- $\cos \varphi$
- центр нагрузки.

Расстояния нагрузок от питающей станции МЭС показано на рис. 86.

*Решение.* Для определения нагрузки составляем по данным приложения IX сводку, показанную на рис. 86, из которой видно, что ваттная нагрузка участка  $W = 950 \text{ W}$  и безваттная  $1349 \text{ W}$ ; общая нагрузка в VA будет равна:

$$VA = \sqrt{W^2 + (V \cdot I \cdot \sin \varphi)^2} = \sqrt{950^2 + 1349^2} = 1650 \text{ VA};$$

$$\cos \varphi = \frac{950}{1650} = 0,575.$$

Расстояние центра нагрузки от станции находим из уравнения:

$$l_{\text{в}} = \frac{\sqrt{(LW)^2 + (LV \cdot I \cdot \sin \varphi)^2}}{VA} = \frac{\sqrt{3332,5^2 + 4802,5^2}}{1650} = \frac{5850}{1650} = 3,48 \text{ км.}$$

**Задача 101.** Подсчитайте потерю напряжения в трехфазной линии  $E = 6 \text{ kV}$ , питающей по железным проводам диаметром 5 мм участок автоблокировки длиной  $l = 45 \text{ км}$ , если нагрузка составляет 0,4 kVA на 1 км при  $\cos \varphi = 0,65$ .

*Решение.* При равномерно-распределенной нагрузке по линии и между фазами падение напряжения определяется по формуле:

$$e = \sqrt{3} \cdot Z \cdot I.$$

Полная нагрузка участка равна:

$$P = 45 \cdot 0,4 = 18 \text{ kVA} = \sqrt{3} \cdot E \cdot I,$$

откуда:

$$I = \frac{18000}{6000 \cdot \sqrt{3}} = 1,73 \text{ А.}$$

При токе 1,7 А сопротивление 1 км железного провода в 5 мм диаметром по таблице приложения VI, составляет 7,4  $\Omega/\text{км}$ ; общее сопротивление линии до центра нагрузки  $\left(\frac{l}{2}\right)$  будет:

$$Z = 7,4 \cdot 22,5 = 166,5 \Omega.$$

Тогда падение напряжения будет:

$$e = \sqrt{3} \cdot 166,5 \cdot 1,73 = 500 \text{ V,}$$

что составляет:

$$\frac{500}{6000} \cdot 100 = 8,4\% (< 10\%).$$

**Задача 102.** Определите, каков будет  $\cos \varphi$  трехфазной линии передачи длиной  $l = 40 \text{ км}$  из железных 5-мм проводов, расположенных на расстоянии  $a = 1 \text{ м}$  друг от друга, если учесть емкость проводов и если  $\cos \varphi$  линии без учета емкости равен 0,55 ( $\varphi \cong 56,6^\circ$ ) при силе тока 1,73 А и напряжении 6 kV.

*Решение.* Находим емкость линии по формуле (128):

$$C = \frac{0,02414}{\lg\left(\frac{2a}{d}\right)} \mu\text{F}/\text{км} = \frac{0,02414}{\lg\left(\frac{2 \cdot 1}{0,005}\right)} = \frac{0,02414}{2,6021} = 0,0093 \mu\text{F}/\text{км.}$$

При этой емкости безваттная проводимость на 1 км будет:

$$b = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot 10^{-6} \text{ г} = 314 \cdot 0,0093 \cdot 10^{-6} = 2,92 \cdot 10^{-6} \text{ г}/\text{км};$$

на всю же линию проводимость будет:

$$B = 2,92 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 1,17 \cdot 10^{-4}.$$

При указанной емкостной проводимости емкостный ток получится равным:

$$I = \frac{B \cdot V}{\sqrt{3}} = \frac{1,17 \cdot 10^{-4} \cdot 6000}{3} = 0,405 \text{ A}.$$

Для определения угла  $\varphi'$  с учетом емкости проводов строим векторную диаграмму токов (рис. 87); приняв за начальную фазу вектор напряжения  $V$  под углом  $56,5^\circ$  к нему в сторону отставания строим вектор тока  $I = 1,73 \text{ A}$ ; вектор емкостного тока  $I_0$  строим под углом  $90^\circ$  к  $V$  в сторону опережения; результирующий вектор  $I_1$  получится равным  $1,42 \text{ A}$  и будет иметь фазный угол  $47,5^\circ$ , а следовательно  $\cos \varphi'$  при учете емкости проводов будет:

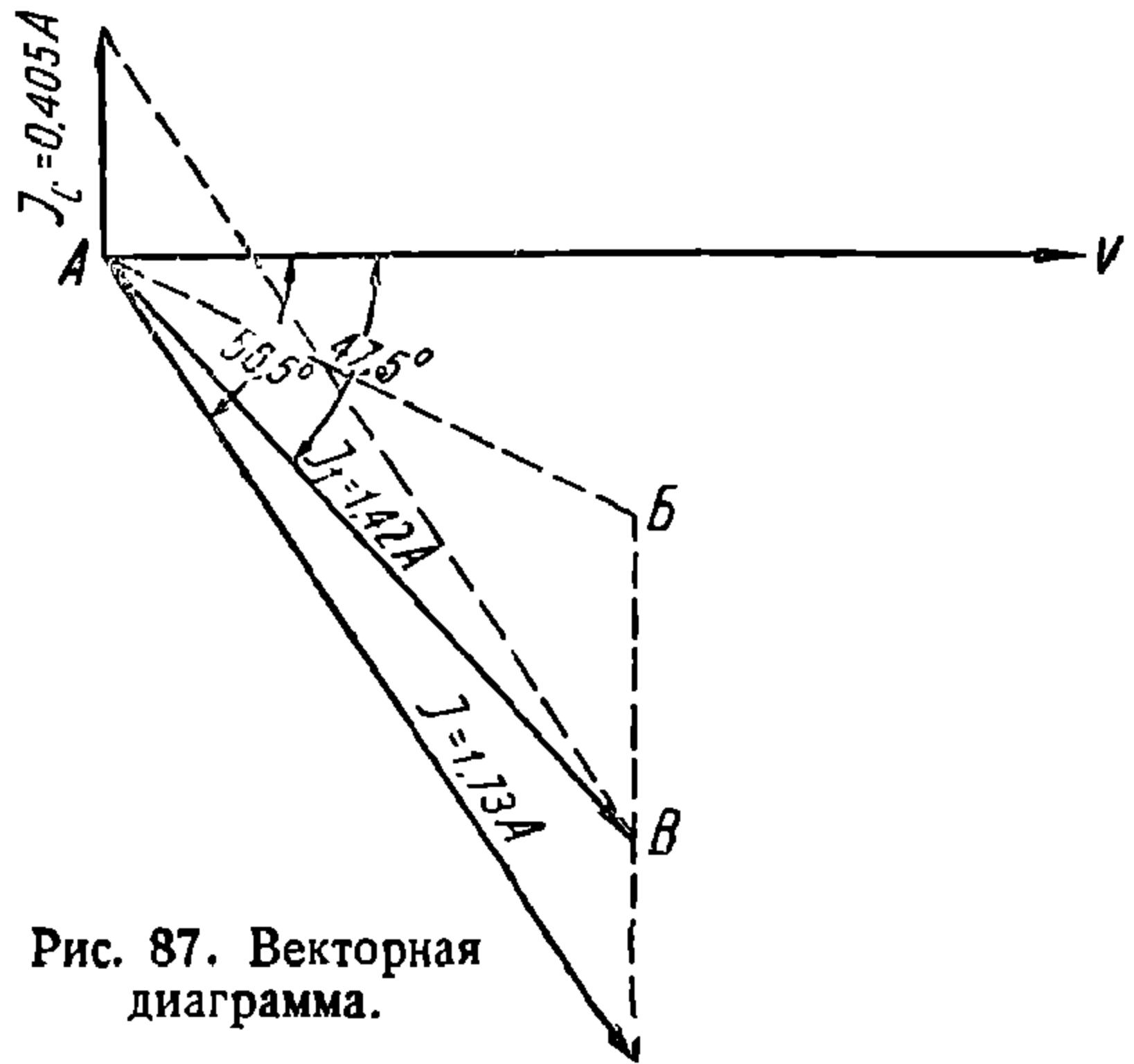


Рис. 87. Векторная диаграмма.

$$\cos 47,5^\circ = 0,675.$$

**Задача 103.** Определить, какую добавочную емкость, считая ее равномерно распределенной, надо подключить на стороне высокого или низкого напряжения к линии, указанной в предыдущей задаче, чтобы довести  $\cos \varphi$  до  $0,9$  ( $\varphi \cong 25,5^\circ$ ).

*Решение.* Проведя на рис. 87 линию  $AB$  под углом  $\varphi = 25,5^\circ$  к вектору  $V$ , находим, что добавочный емкостный ток будет:

$$I_0 = BV = 0,58 \text{ A}.$$

Для получения такого тока потребуется емкостная проводимость на всю линию:

$$B = \frac{0,58 \cdot \sqrt{3}}{6000} = 1,675 \cdot 10^{-4} \text{ Ф},$$

или на  $1 \text{ км}$ :

$$b = \frac{1,675 \cdot 10^{-4}}{40} \cong 0,04 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}.$$

Так как  $b = 2\pi \cdot f \cdot C$ , то необходимая емкость на  $\text{км}$  будет равна

$$C = \frac{0,04 \cdot 10^{-4}}{314} = 0,0127 \cdot 10^{-6} \text{ F/км или } 0,0127 \text{ }\mu\text{F/км}.$$

НТБ  
ДНУЖТ  
157

**Задача 104.** Подсчитать емкость батареи для электрической централизации станции, имеющей  $a_1 = 40$  стрелок, управляемых  $a_2 = 35$  рукоятками, при среднем числе переводов каждой стрелкой в сутки  $n = 40$ , если в среднем на станции устанавливается в сутки  $p = 120$  маршрутов, считая, что батарея работает сутки на разряд рабочим током и сутки на разряд контрольным током (с переключением); учесть необходимый запас емкости на старение батареи и на развитие.

*Решение.* Емкость батареи при разряде рабочим током ( $E_1$ ) и контрольным током ( $E_2$ ) в течение суток по формулам (129) и (130) равна:

$$E_1 = 0,00278 \cdot a_1 \cdot n = 0,00278 \cdot 40 \cdot 40 = 4,45 \text{ Ah}$$

и

$$E_2 = \frac{a_2 (1,2 + 0,0167 \cdot n) + 0,0267 \cdot p + 4,8}{4} =$$

$$= \frac{35 (1,2 + 0,0167 \cdot 40) + 0,0267 \cdot 120 + 4,8}{4} = 18,4 \text{ Ah.}$$

Считая на старение 15% и на развитие 20%, получим потребную емкость каждой батареи равной:

$$1,35 (4,45 + 18,4) = 30,8 \text{ Ah,}$$

что соответствует типу аккумуляторов  $I_1$ .

**Задача 105.** Стрелочный электропривод удален от поста на 900 м; определить: сколько жил сечением  $q = 1,12 \text{ мм}^2$  надо взять в кабеле для того, чтобы напряжение на моторе было не ниже 100 V.

*Решение.* Падение напряжения определяется по известной формуле:

$$\Delta V = \frac{2l \cdot I \cdot \rho}{q},$$

где  $l$  — длина и  $q$  — сечение провода.

Принимая средний рабочий ток стрелки 4 А (привод типа ЦЛПС) и напряжение на шинах аппарата электрической централизации  $V_s = 134 \text{ V}$ , можем написать уравнение:

$$(134 - 100) = \frac{2 \cdot 900 \cdot 4 \cdot 0,0175}{X \cdot 1,12},$$

где  $X$  — искомое число жил; оно будет равно:

$$X = \frac{2 \cdot 900 \cdot 4 \cdot 0,0175}{34 \cdot 1,12} \cong 3,3.$$

Берем три жилы для прямого провода и четыре для обратного.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Равич, Голонский, Кутьин и Озолинг. Автоблокировка. Трансжелдориздат, 1934, стр. 232—237.
2. Вахнин. Автоматическая блокировка. Энергоиздат, 1933, стр. 54—96.
3. Лупал. Электрическая централизация стрелок. Трансжелдориздат. 1934, стр. 188, 192, 194 и 199.
4. Дзенискевич. Расчет силового кабеля для нужд СЦБ. Журнал „Сигнализация и связь на жел.-дор. транспорте“ № 1, 1933, стр. 21.
5. Щелкунов. Возможность уменьшения потерь в линиях высокого напряжения с железными проводами, питающих автоблокировочные устройства. Журнал „Сигнализация и связь на ж.-д. транспорте“ № 2, 1932, стр. 27.

### **XIII СОСТАВЛЕНИЕ УПРОЩЕННЫХ РАЗВЕРНУТЫХ СХЕМ ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ БЛОКИРОВКИ**

Методикой составления развернутых коммутационных схем занимался целый ряд немецких авторов: Boda, Lischke, Pfeil и др. Систематизированный труд по этому вопросу составлен Seyberth'ом (книга „Anleitung zur Aufstellung von Blockplänen“). Предлагаемые в настоящем отделе способы составления блок-схем разработаны автором на основе указанного труда Seyberth'a, со внесением некоторых дополнений (эскиз последовательной связи блок-механизмов). В развернутых схемах используются обозначения, приведенные в приложении X. За основу составления схем берется таблица намеченной по эксплуатационной потребности последовательности действий блок-механизмами. На основе указанной таблицы последовательности действий набрасывается эскиз последовательной связи блок-механизмов, по которому затем намечаются необходимые пути прохождения блокировочного тока для каждого в отдельности последовательного действия, что выполняется простым соединением в цепь участвующих в действии блок-механизмов, индуктора и земли. Эти набросанные элементарные пути прохождения тока затем, по возможности, объединяются для сокращения числа соединительных проводов—установкой у мест разветвления тех или иных контактов, позволяющих осуществить необходимые соединения и исключаящих недопустимые ответвления. В умении правильно объединить в цельную комплексную схему раздельно набросанные элементарные пути прохождения тока для отдельных последовательных действий и заключается задача составления упрощенных развернутых схем полуавтоматической блокировки: элементарные приемы указанного составления схем будут иллюстрированы последующими задачами.

**Задача 106.** Составьте схему токопрохождения 2 одинарных блок-механизмов, соответствующую таблице последовательности действий, указанной на рис. 88.

*Решение.* По схеме последовательности действий составлен эскиз последовательной связи блок-механизмов (рис. 89), на котором стрелка сверху кружка обозначает блокирование, а снизу кружка—отблокирование; цифры у стрелок обозначают последовательные действия. Затем по эскизу набрасываем элементарные пути тока (рис. 90):



а) для первого действия (блокирование механизма I и деблокирование II), цепь—состоящая из индуктора И, блока I, провода  $l_1$  блока II и земли  $З_2$  и

б) для второго действия аналогичный путь. Оба намеченные пути тока объединяются затем в одну цепь, при чем в точках разветвления путей ставятся переключающие контакты  $КН_1$  (приложение X).

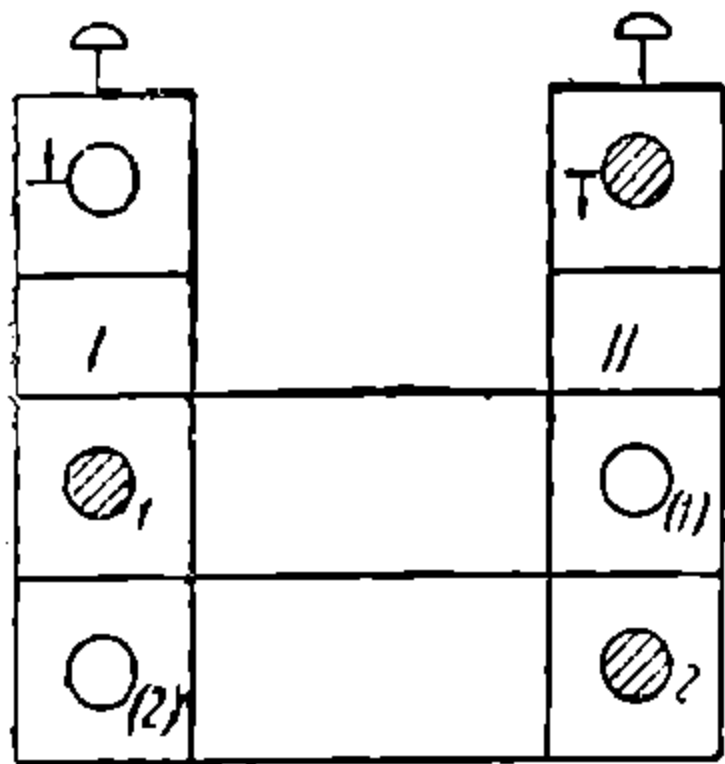


Рис. 88. Схема последовательности действий.



Рис. 89. Схема последовательности связи.

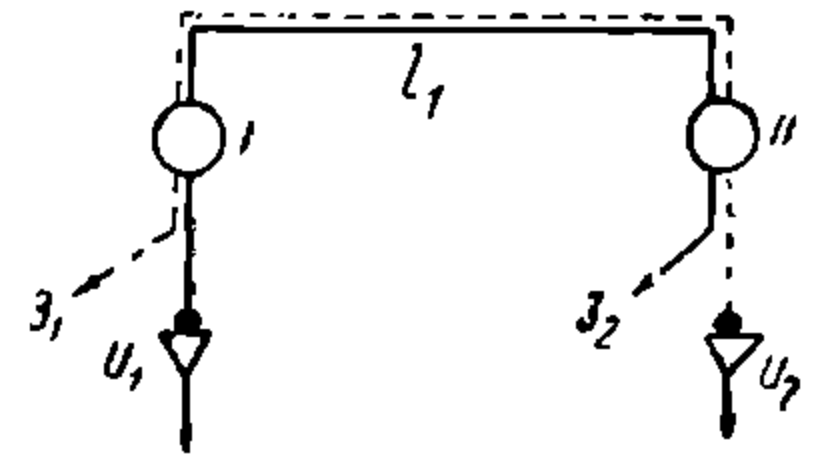


Рис. 90. Схема путей тока.

В результате получаем требуемую упрощенную схему (рис. 91).

**Задача 107.** Составьте упрощенную схему токопрохождения для двух пар взаимно-связанных блок-механизмов, работающих от об-

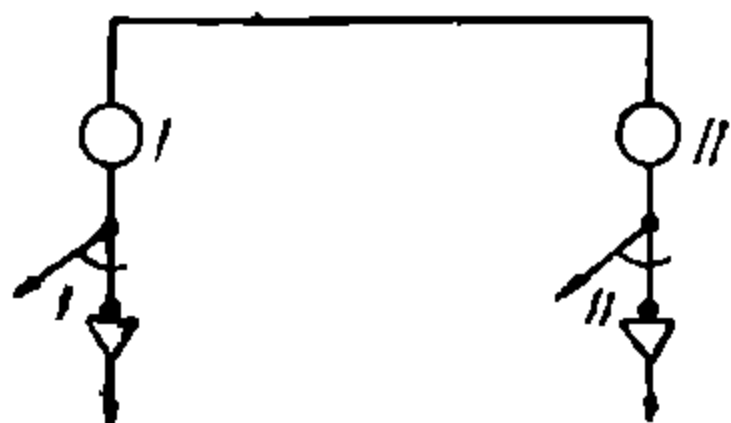


Рис. 91. Развернутая схема.

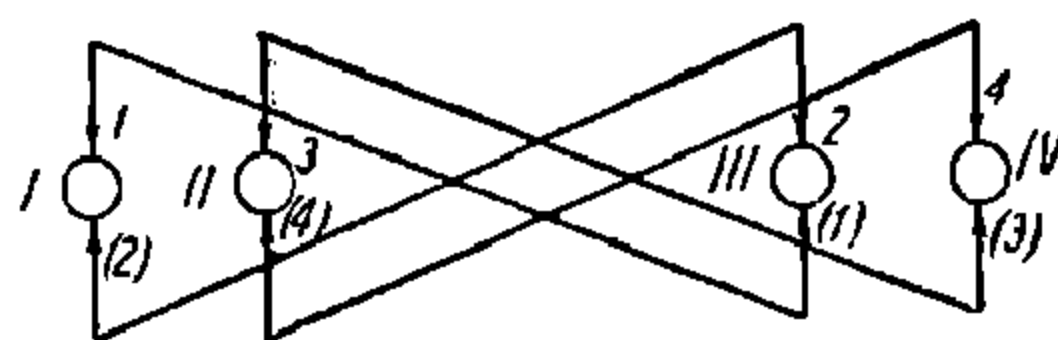


Рис. 92. Схема последовательной связи.

щего индуктора, для каждой пары по эскизу последовательной связи, показанному на рис. 92.

**Решение.** Схема в данной задаче будет представлять дважды повторенную схему предыдущей задачи с той только особенностью,

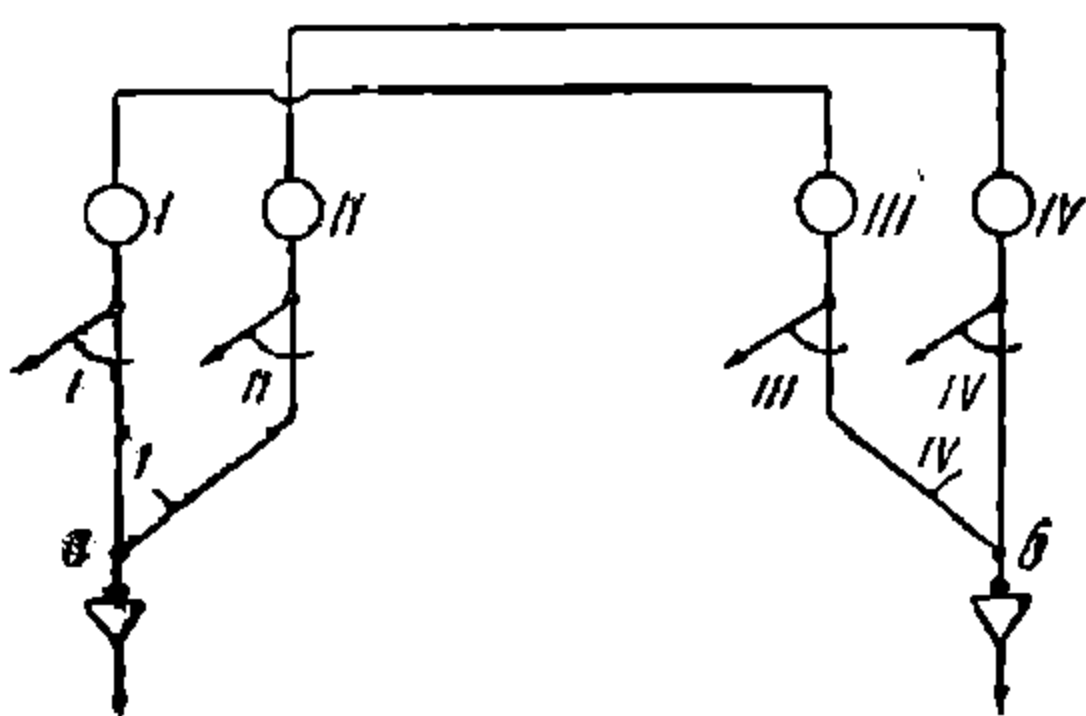


Рис. 93. Развернутая схема.

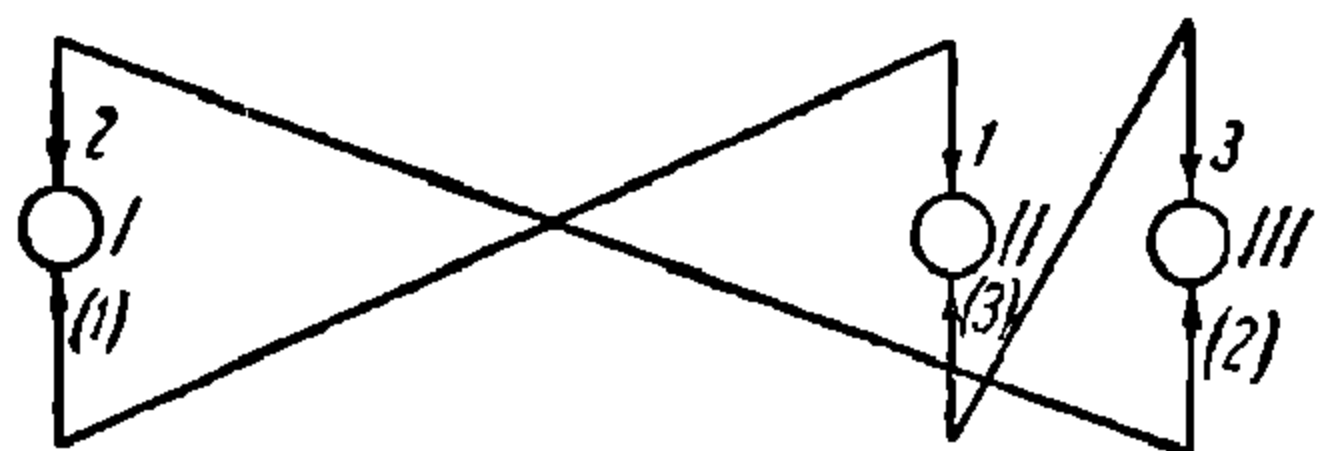


Рис. 94. Схема последовательной связи.

что обе цепи взаимно связанных пар блоков сходятся к общему индуктору на каждом посту в точках  $a$  и  $b$  (рис. 93); во избежание возможного разветвления индукторного тока на две параллельные цепи, в точках  $a$  и  $b$  ставим разрывные контакты  $КН_4$  (приложение X).

НТБ  
ДНУЖТ

**Задача 108.** Составьте упрощенную схему коммутации трех блок-механизмов, работающих попеременно попарно согласно эскизу последовательной связи, указанной на рис. 94.

**Решение.** Намеченные пути прохождения тока для отдельных последовательных действий показаны на рис. 95. При объединении путей прохождения тока ставим в точках *a*, *b* и *в* обычные полные переключающие контакты  $КН_1$ , в точке *г* ставим разрывной контакт  $КН_4$  для исключения возможности разветвления индукторного

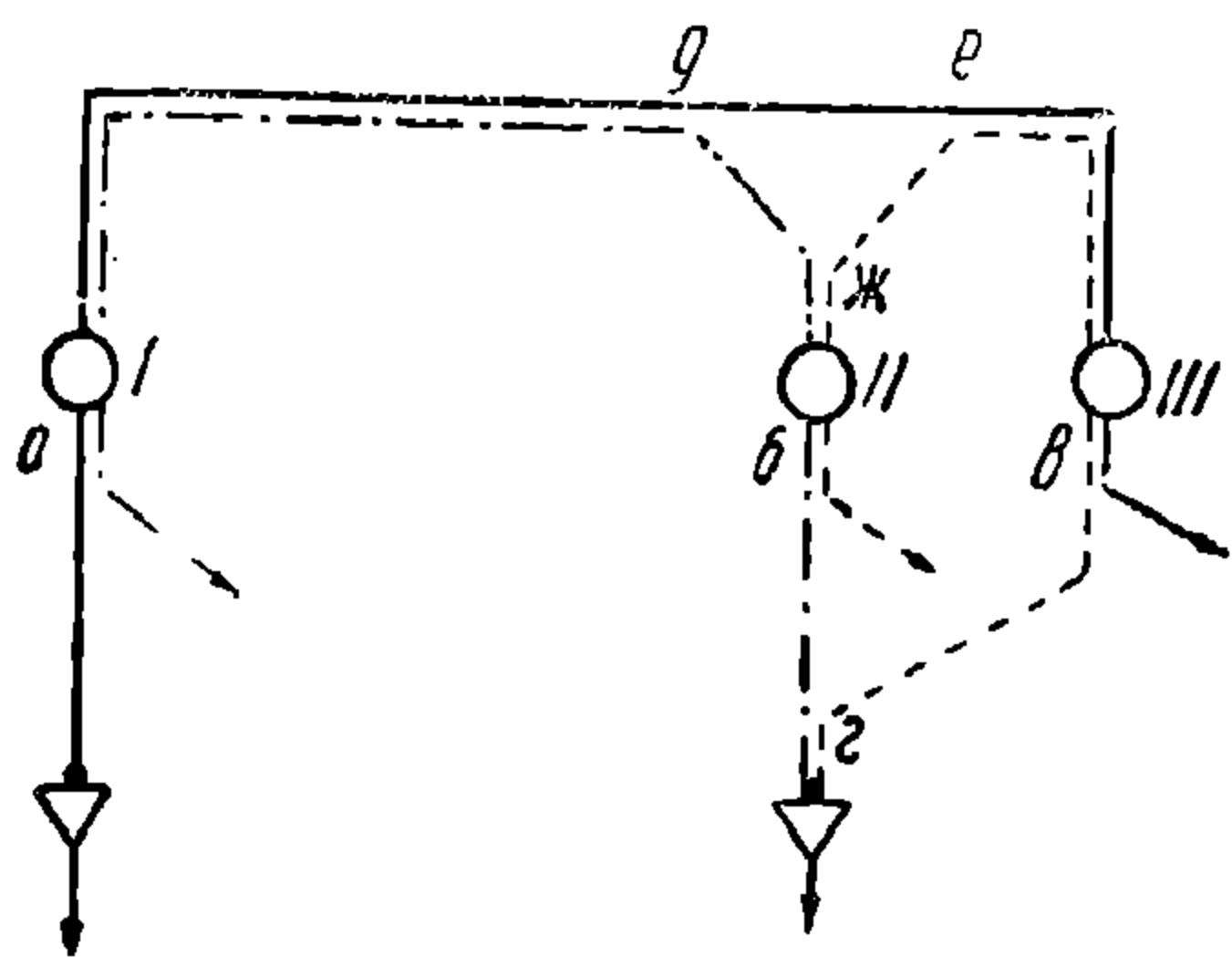


Рис. 95. Схема путей тока.

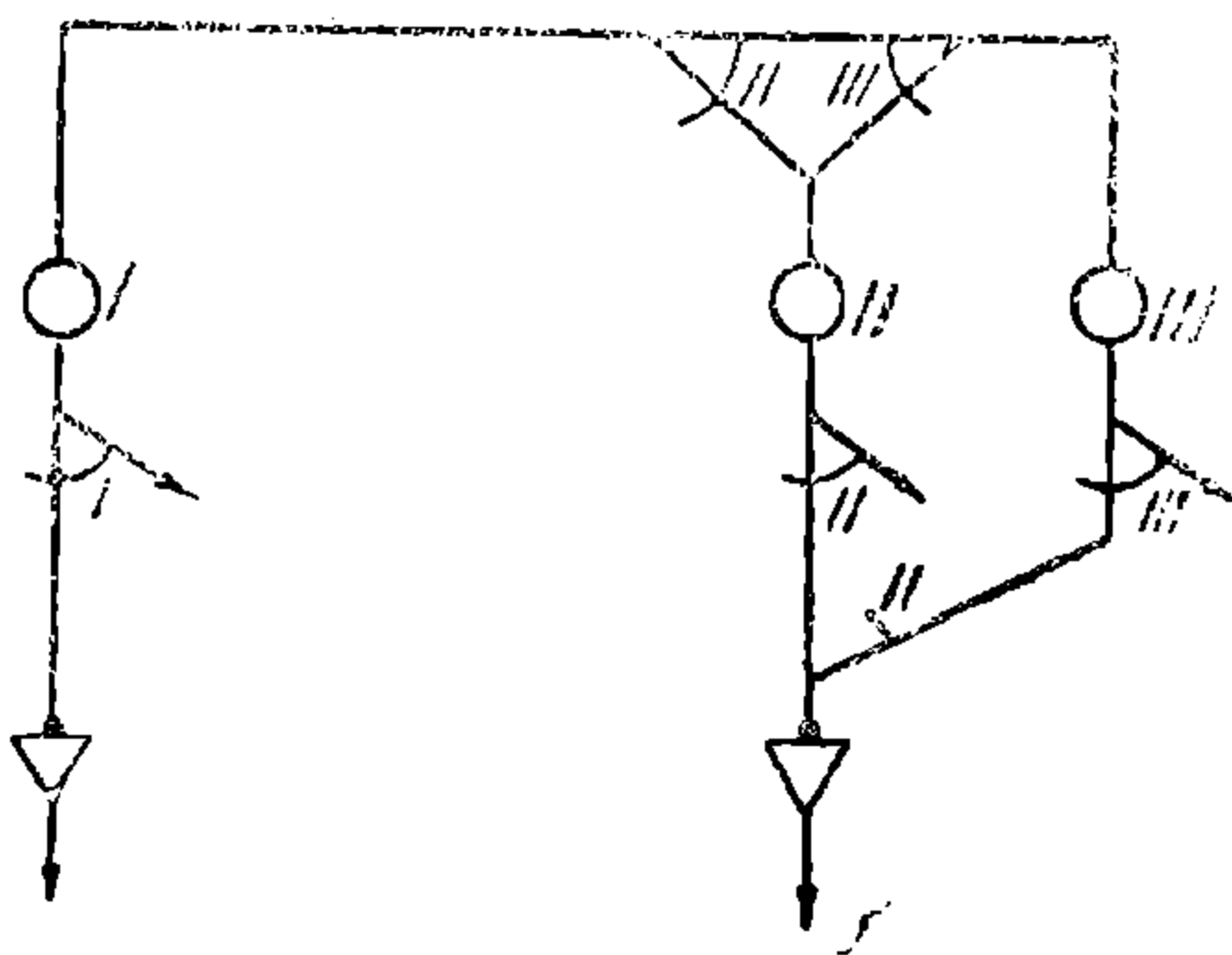


Рис. 96. Развернутая схема.

тока. В треугольнике разветвлений *деж*, казалось бы, надо поставить три контакта во всех трех точках *д*, *е* и *ж*; однако возможно обойтись двумя контактами *д* и *е*, так как нетрудно проследить, что и при наличии только их недопустимых путей не может получиться. Окончательно схема получает вид, показанный на рис. 96.

**Задача 109.** Составить упрощенную схему коммутации для двух пар блок-механизмов, работающих согласно таблицы последовательности действий, приведенной на рис. 97.

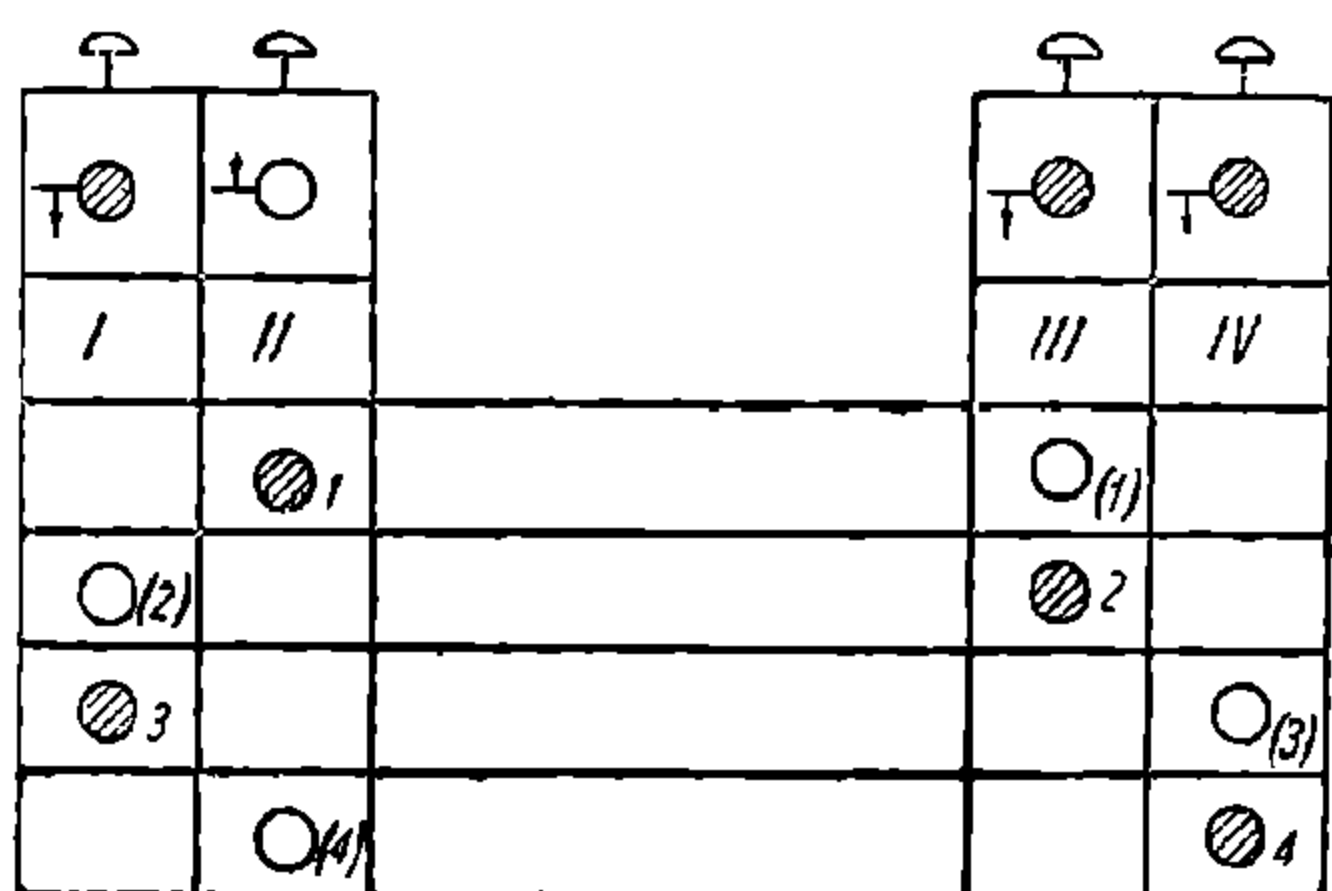


Рис. 97. Схема последовательности действий.

**Решение.** Эскиз последовательной связи блок-механизмов (рис. 98) составляется по очередности последовательных дей-

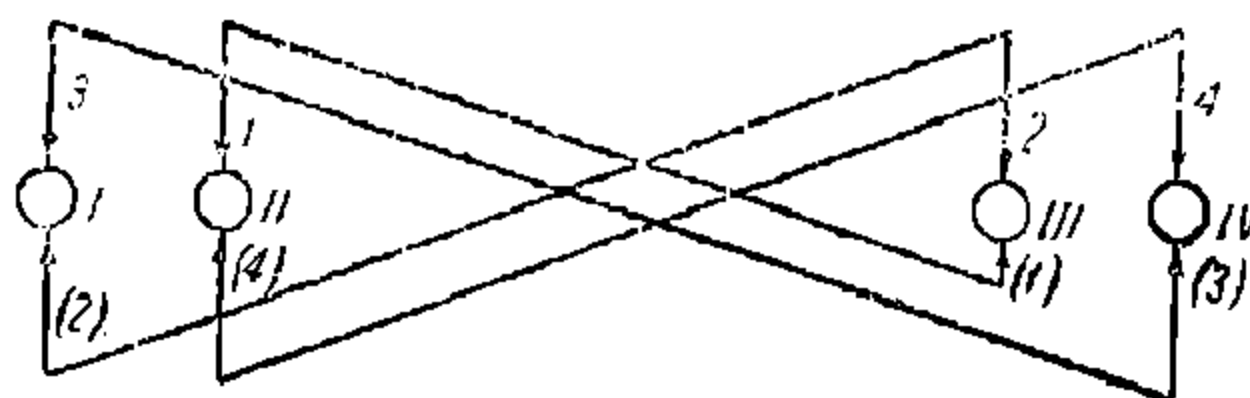


Рис. 98. Схема последовательной связи.

ствий согласно рис. 97.. По эскизу намечаем пути прохождения тока  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и  $I_4$  для отдельных действий, показанные на рис. 99. При объединении путей  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и  $I_4$  в точках *a*, *б*, *в* и *г* ставим полные переключающие контакты  $КН_1$ , а в точках *д* и *е* — разрывные контакты  $КН_4$ .

Полные переключающие контакты  $KN_1$  ставим также в точках  $u$  и  $к$ , а в точках  $ж$  и  $л$  можно поставить разрывные контакты  $KN_4$ , так как двойной разрыв проводов  $ли$  и  $жк$  излишен. Окончательная схема токопрохождения принимает вид, приведенный на рис. 100.

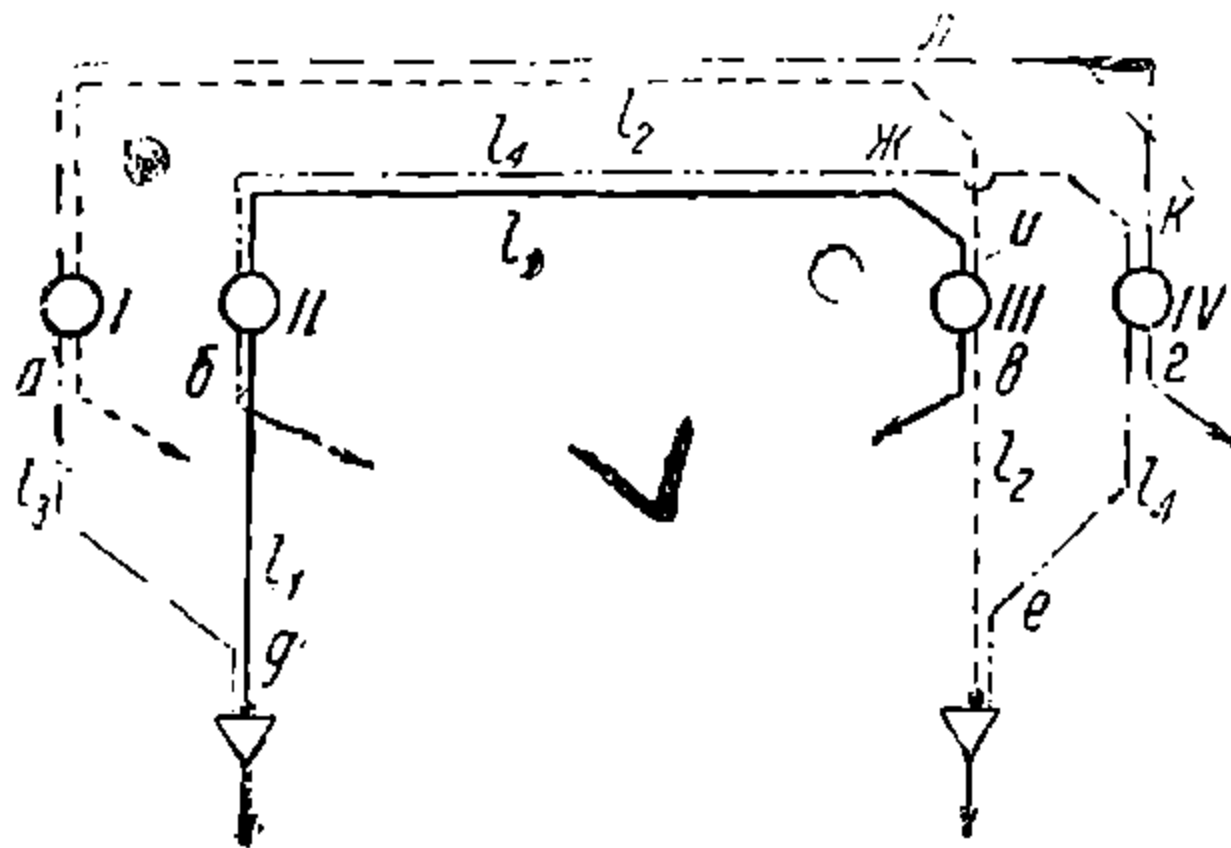


Рис. 99. Схема путей тока.

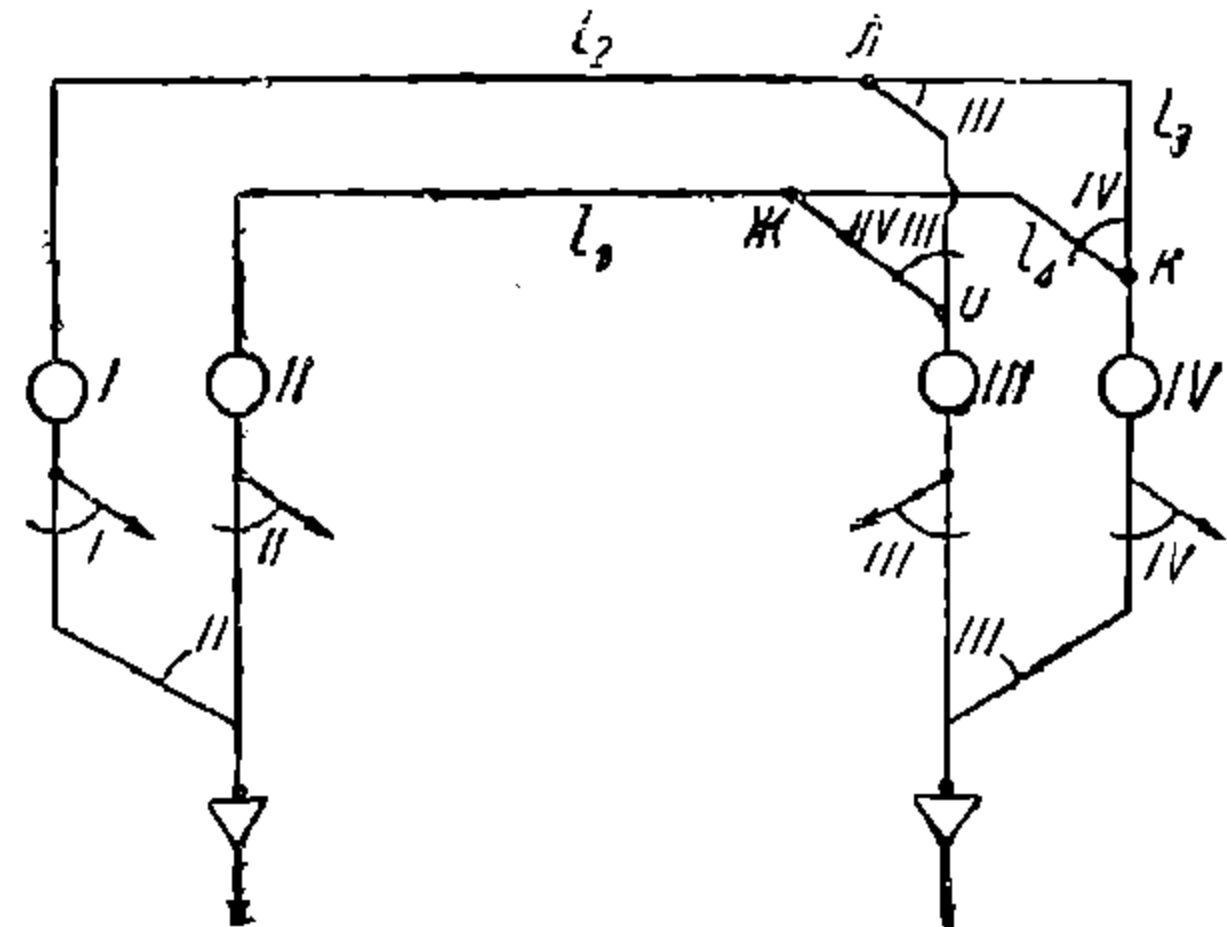


Рис. 100. Развернутая схема.

**Задача 110.** Составить упрощенную схему для двух блок-очков промежуточного блок-поста двухпутной блокировки, могущего работать как со спаренными блок-клавишами, так и с каждой блок-клавишей отдельно, согласно таблицы последовательности действий, указанной на рис. 101.

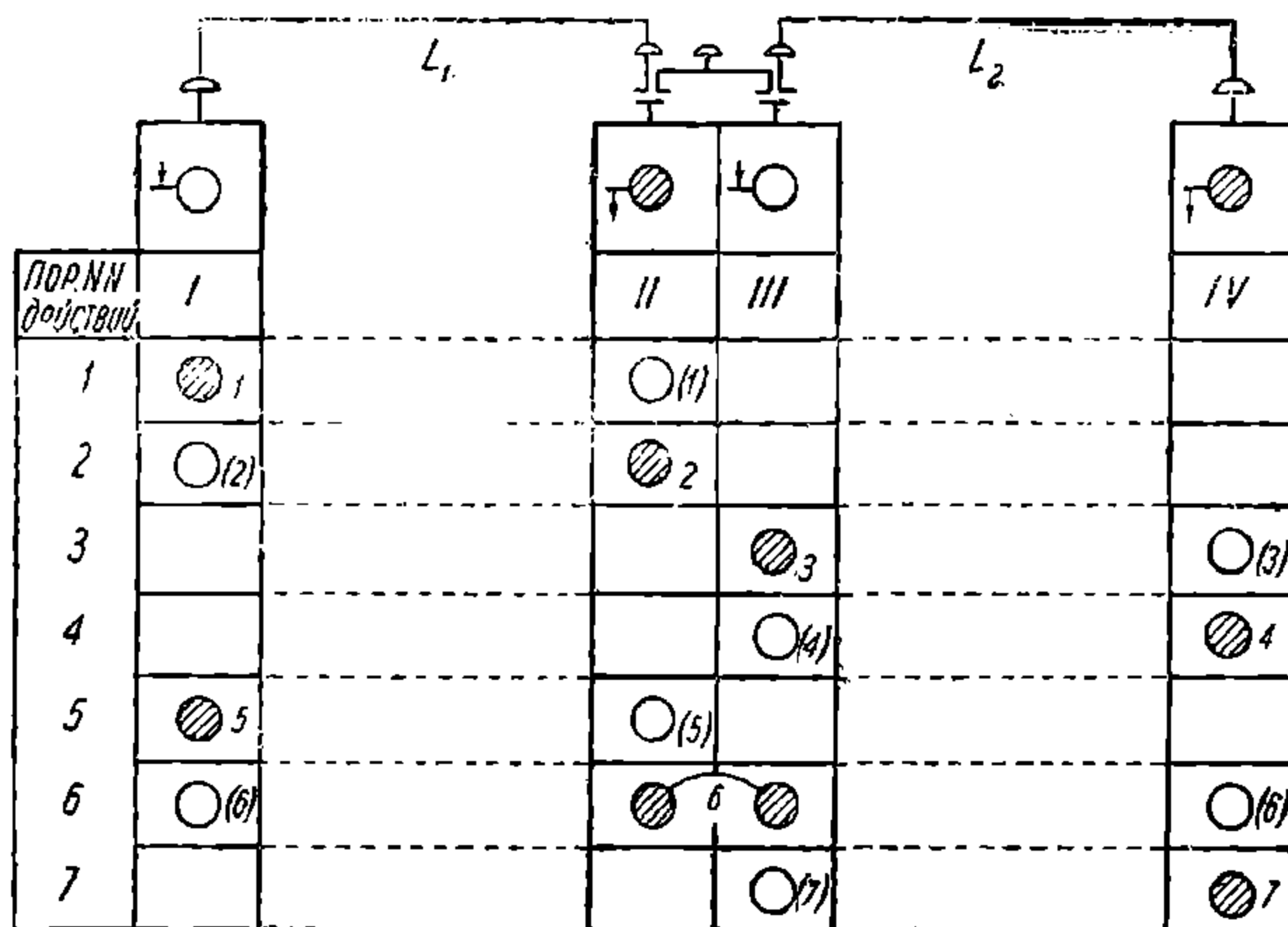


Рис. 101. Схема последовательности действий.

**Решение.** Эскиз последовательности связи данных блок-механизмов построен на рис. 102. Схемы, соответствующие действиям 1, 2, 3, 4, и 5 по эскизу последовательности связи будут аналогичны уже построенным ранее (например, рис. 91, 93), поэтому построение их (на фиг. А рис. 103) не требует пояснений. Что касается 6-го действия, то путь прохождения тока для этого действия показан пунктиром на рис. 103, при чем индуктор должен быть отключен от земли и включен последовательно между блок-механизмами II и III. При объединении проводов в точке  $a$  можно осуществить постоянное соединение, в разветвлении же при точке  $b$  переключе-

ние земли на провод  $l_1$  должно производиться только при нажатии обеих блок-клавишей II и III, поэтому здесь надо поставить два контакта, управляемые одной—блок-клавишей II, а другой—блок-клавишей III; чтобы осуществить установку двух контактов, делаем разветвление земли на две и ставим на каждое разветвление по контакту, как указано на фиг. Б рис. 103, при чем один контакт берем полный переключатель  $KH_1$ , а второй—разрывной  $KH_4$ .

**Задача 111.** Превратите упрощенную развернутую схему рис. 103 в коммутационную (монтажную).

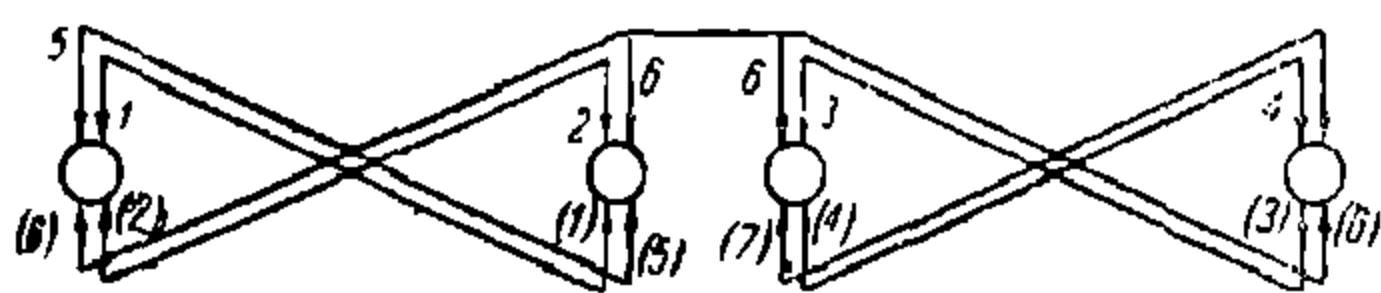


Рис. 102. Схема последовательной связи.

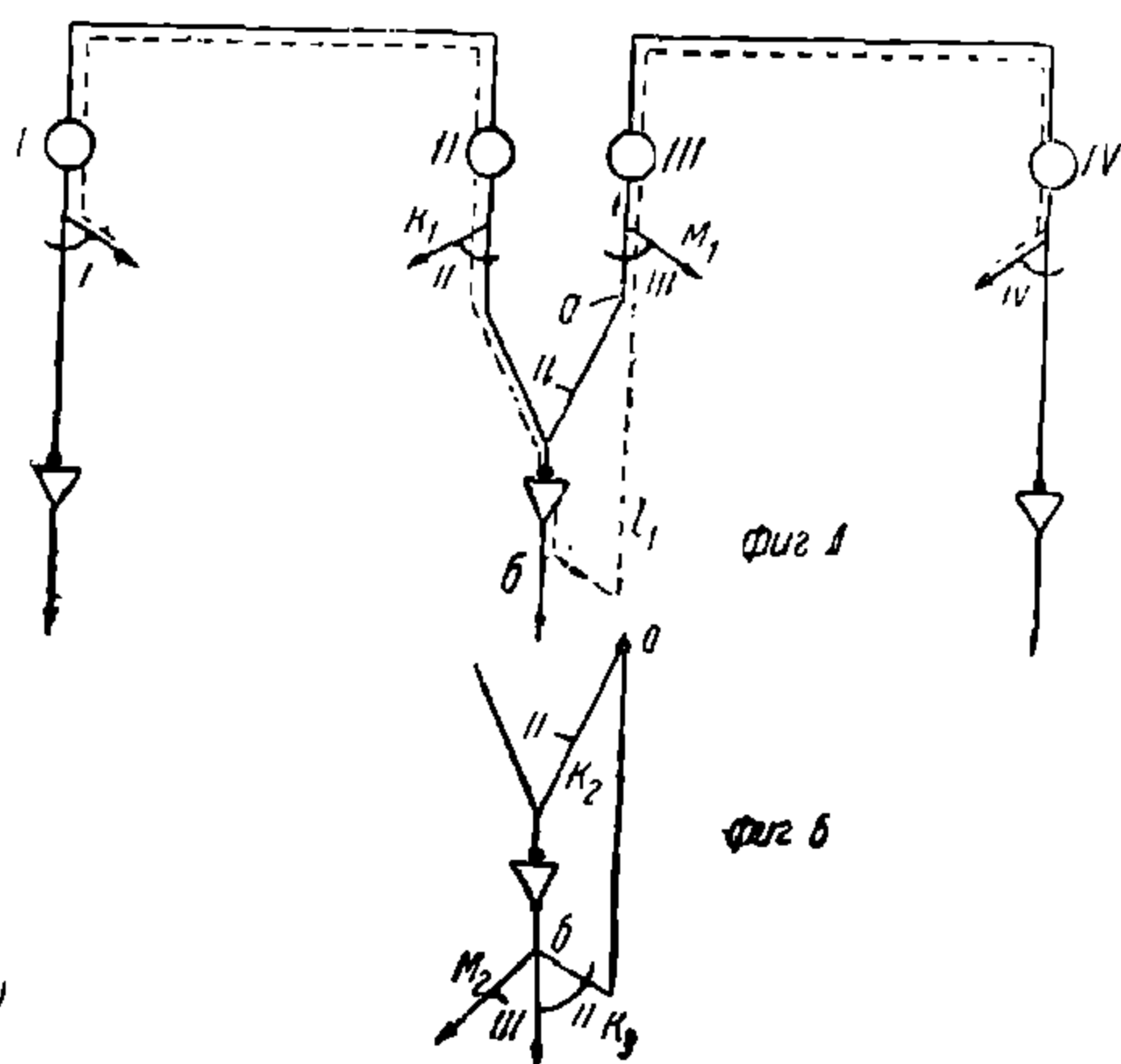


Рис. 103. Развернутая схема.

**Решение.** На рис. 104 представлена коммутационная схема, соответствующая упрощенной схеме рис. 103 для блок-механизмов I, II и III; включение IV аналогично первому. Построение ее понятно

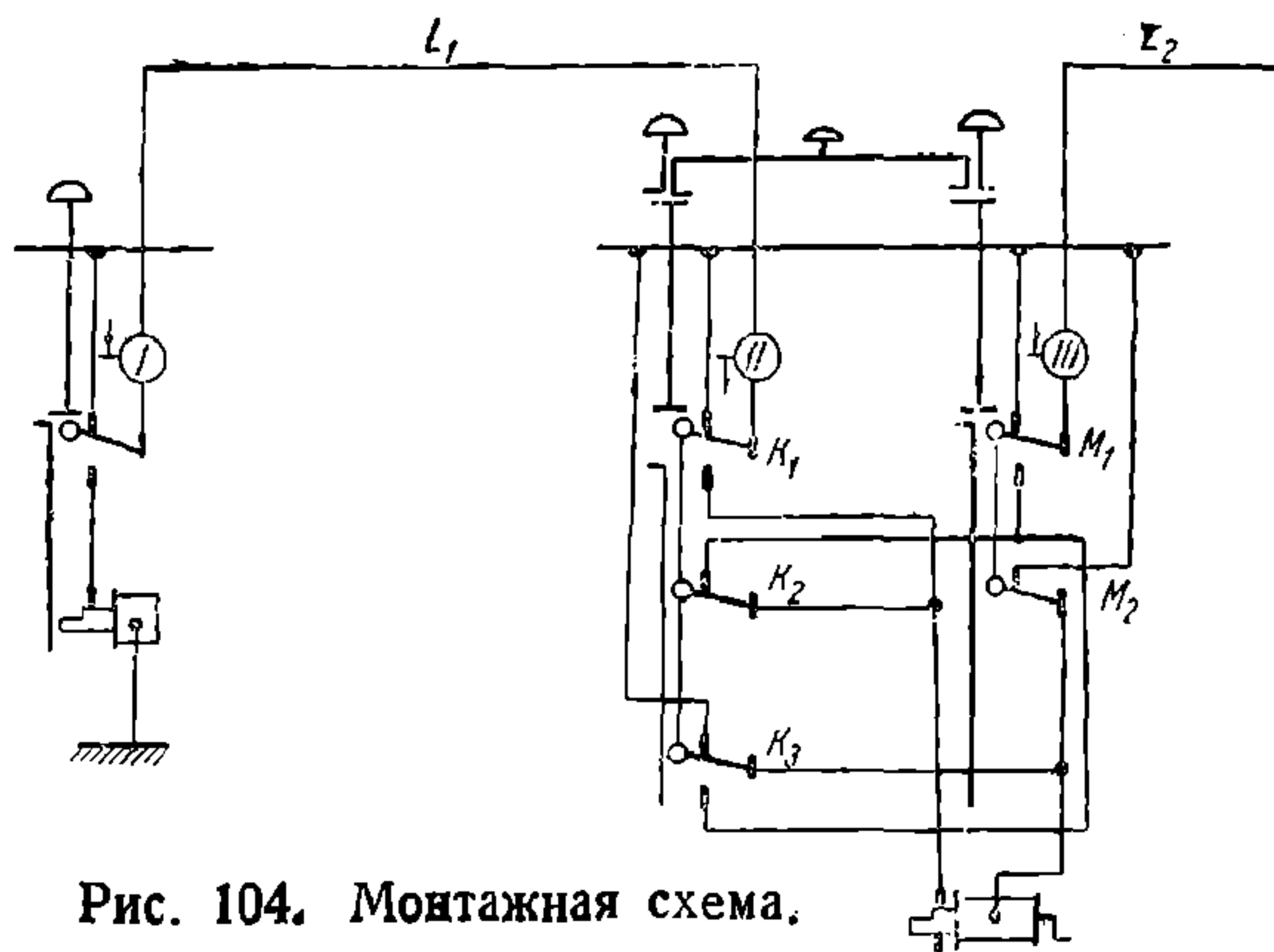


Рис. 104. Монтажная схема.

без особых пояснений; для облегчения разбора схем на рис. 103 и 104 одни и те же контакты обозначены одинаковыми буквами ( $k_1, k_2, k_3, m_1$  и  $m_2$ ).

#### ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Seyberth. Anleitung zur Aufstellung von Blockplänen. Изд. Рейнике. Лейпциг. 1914 стр. 1—29.
2. Edler. Schalterbau. 2 Band. Изд. Янеке. Лейпциг, 1927, стр. 370—386.
3. Рогинский. Упрощенные способы составления блокировочных схем токопрохождения. Журнал „Техника и экономика путей сообщения“, 1921, стр. 14—16 (Реферат о книге Seyberth'a).

Приложение 1

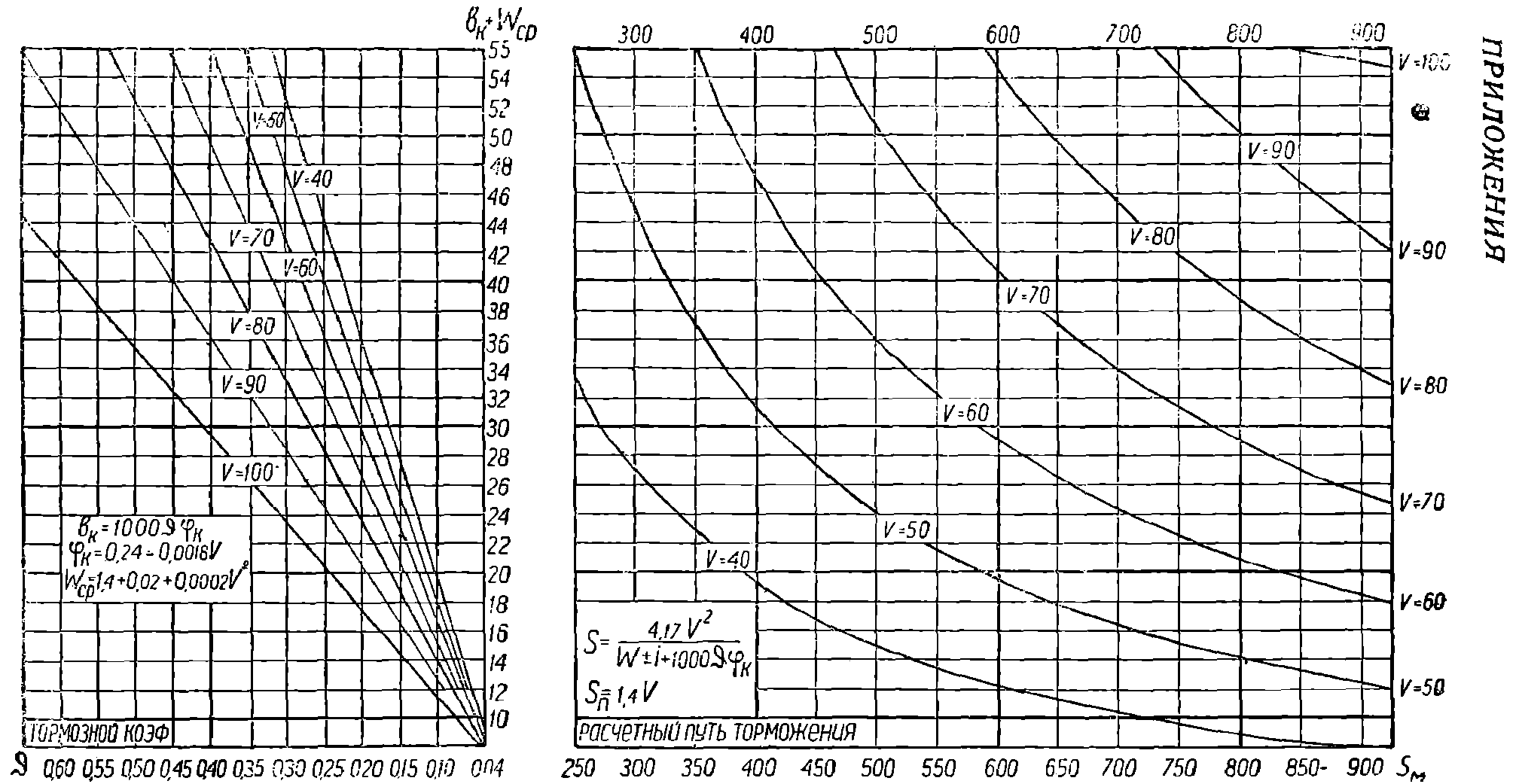


Рис. 105. Номограмма для определения тормозных путей товарных поездов.

НТБ  
ДНУЖТ

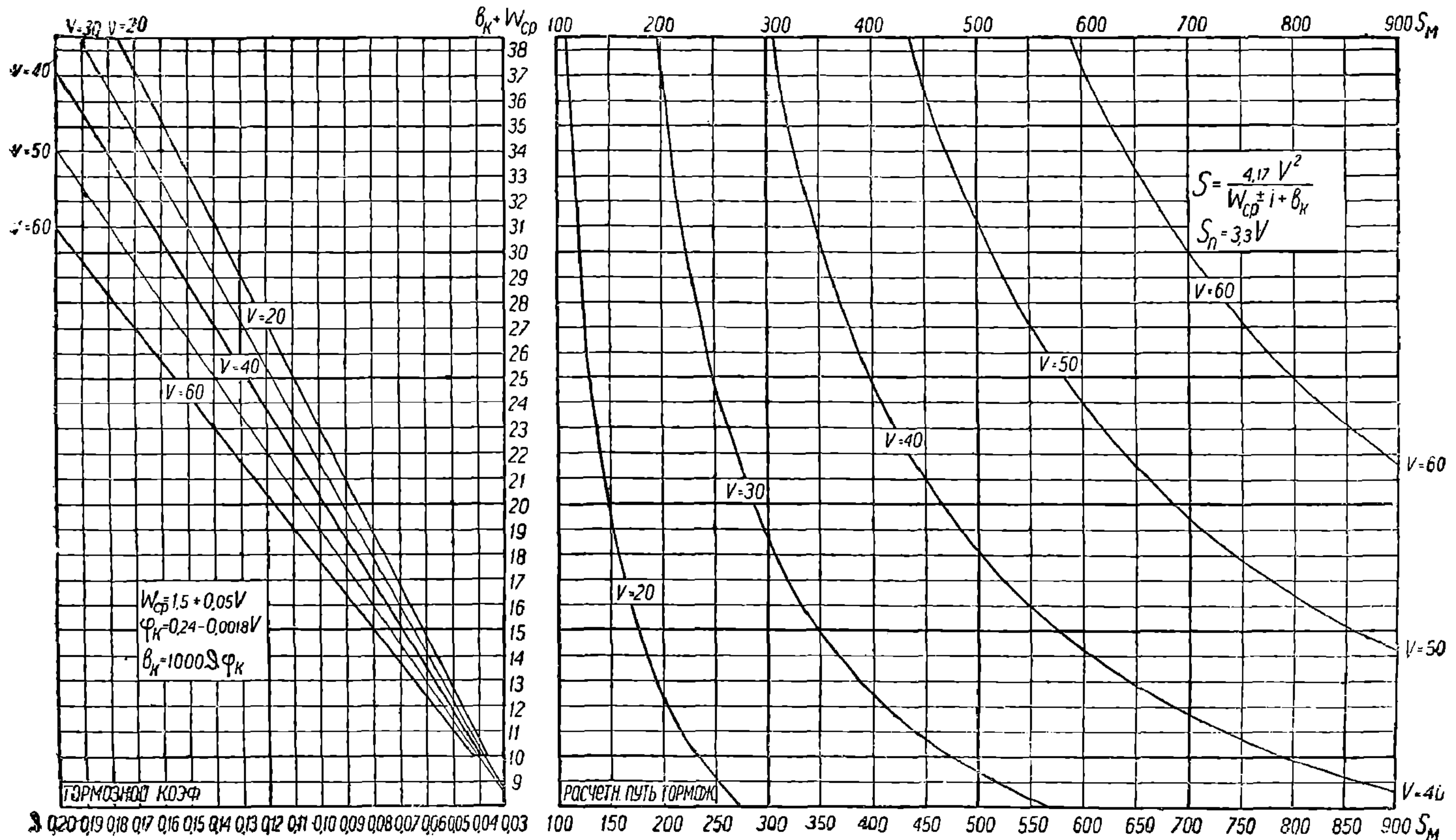


Рис. 106. Номограмма для определения тормозных путей пассажирских поездов.

НТБ  
ДНУЖТ

Данные о скоростях, весах и нажатии колодок разных паровозов, тендеров и вагонов

№№ по пор.	Тип и серия паровозов	Наибольшая скорость в км	Расчетный вес паровоза с тендером	% наж. колодки на банд. от расч. веса		
				паровоз	тендер	паровоз и тендер
Товарные паровозы						
1	0—5—0 Э, Эш, Эу, Эм	55	125 130	30	33	32
2	1—4—0 Щ, Щч, Щп	65	120	19	28	30
3	1—5—0 Еф	55	135	34	40	36
4	0—4—0 Ов	50	95	38	33	35
5	1—5—1 ФД	60	190	—	—	—
Пассажирские паровозы						
1	1—3—1 С	110	125	15	35	22
2	1—3—1 Су	110	120	31	30	31
(со старым тендером)						
3	1—3—1 Су (с новым тендером)	110	120	31	37	33
4	2—4—0 М	100	150	27	14,8	23
5	2—3—1 Л	120	150	28	14,8	23
6	1—4—2 ИС	100	170	—	—	—

Сила нажатия колодок при ручном торможении нормального грузового (16 т) вагона равна:

$$7,2 \cdot 0,6 = 4,32 \text{ т.}$$

Сила нажатия колодок: а) 4-осного грузового вагона с автоматическим торможением—14,7 т, б) 2-осного 20-тонного вагона с автоматическим торможением—7,8 т (при ручном торможении коэффициент 0,6); в) классного 2-осного—13,64 т и г) классного 4-осного—30,7 т.

**Удельное сопротивление подвижного состава на прямой площадке**

Род подвижного состава	Формула
<b>Товарные вагоны</b>	
2-осн. порожн. и груженые .	$w''_0 = 1,5 + 0,05v$
2-осн. порожние .	$w''_0 = 1,4 + 0,08v$
2-осн. груженые .	$w''_0 = 1,4 + 0,005v$
4-осн. порожние .	$w''_0 = 2,5 + 0,04v$
4-осн. груженые .	$w''_0 = 1,5 + 0,02v$
<b>Пассажирские вагоны</b>	
2-и 3-осные . . . . .	$w''_0 = 1,6 + 0,027v + 0,0003v^2$
4-и 6-осные (тележечные)	$w''_0 = 1,4 + 0,02v + 0,0002v^2$
<b>Товарные паровозы</b>	
Без раздвижного золотника .	$w'_0 = 3,0 + 0,35v$
С раздвижным золотником .	$w'_0 = 3,0 + 0,15v$
<b>Пассажирские паровозы</b>	
Без раздвижного золотника .	$w'_0 = 2,8 + 0,05v + 0,0015v^2$
С раздвижным золотником .	$w'_0 = 2,8 + 0,03v + 0,0008v^2$

**I. Таблица размеров, сечения веса и сопротивления медной проволоки**

Диаметр в мм	Площадь поперечного сечения в мм	Вес одного метра в г	Сопротивление одного метра медного провода в омах
0,03	0,00071	0,0063	25,000
0,04 .	0,00126	0,0112	14,000
0,05 .	0,00196	0,0180	9,000
0,06 .	0,00283	0,025	6,300
0,07	0,00385	0,030	4,600
0,08 .	0,00503	0,045	3,550
0,09 .	0,00636	0,057	2,700
0,10 .	0,00785	0,070	2,272
0,12 .	0,01131	0,10	1,577
0,15 .	0,01767	0,16	1,011
0,20 .	0,03142	0,28	0,568
0,25 .	0,04909	0,44	0,364
0,30	0,07069	0,63	0,252
0,35 .	0,09621	0,86	0,185
0,40 .	0,12570	1,12	0,142

ИТЬ  
ДНУЖТ  
167



Продолжение приложения IV

Диаметр 1 мм	Площадь поперечного сечения в мм	Вес одного метра в г	Сопротивление одного метра медного провода в омах
0,45	0,15900	1,42	0,112
0,50	0,19640	1,75	0,091
0,55	0,2376	2,12	0,0752
0,60	0,2827	2,52	0,0631
0,65	0,3318	2,95	0,0538
0,70	0,3848	3,43	0,0463
0,75	0,4418	3,93	0,0404
0,80	0,5027	4,47	0,0355
0,85	0,5675	5,05	0,0315
0,90	0,6362	5,66	0,0261
0,95	0,7088	6,30	0,0252
1,00	0,7854	7,00	0,0227
1,1	0,953	8,46	0,0187
1,2	1,1310	10,00	0,0157
1,3	1,3270	11,80	0,0134
1,4	1,5390	13,70	0,0116
1,5	1,7670	15,70	0,0100
1,6	2,011	17,9	0,0089
1,7	2,270	20,2	0,0079
1,8	2,545	22,6	0,0079
1,9	2,835	25,2	0,0063
2,0	3,142	28,0	0,0057
2,1	3,464	30,8	0,0052
2,2	3,801	33,8	0,0047
2,3	4,155	37,0	0,0043
2,4	4,524	40,3	0,0039
2,5	4,909	43,7	0,0036
2,6	5,309	47,3	0,0034
2,7	5,726	51,0	0,0031
2,8	6,158	54,9	0,0029
2,9	6,605	58,9	0,0027
3,0	7,069	63,0	0,0025

II. Таблица коэффициентов заполнения (K) для разных сортов изолированной проволоки

Диаметр проволоки	Изоляция провода				
	ПЭ	ПШО	ПШД	ПВО	ПБД
0,05	0,525	0,320	0,270	0,230	0,100
0,06	0,535	0,342	0,291	0,236	0,106
0,07	0,545	0,364	0,312	0,242	0,112
0,08	0,554	0,386	0,333	0,248	0,118
0,09	0,562	0,408	0,354	0,254	0,124
0,10	0,570	0,430	0,375	0,260	0,124

НПБ  
ДНУЖТ

Диаметр проволоки	Изоляция провода				
	ПЭ	ПШО	ПШД	ПВО	ПБД
0,12	0,582	0,510	0,395	0,270	0,130
0,15	0,598	0,500	0,440	0,285	0,155
0,20	0,615	0,550	0,475	0,315	0,190
0,25	0,630	0,580	0,505	0,345	0,220
0,30	0,645	0,610	0,530	0,375	0,250
0,40	0,665	0,645	0,560	0,425	0,300
0,50	0,680	0,665	0,590	0,465	0,350
0,60	0,690	0,680	0,610	0,500	0,395
0,70	0,700	0,695	0,630	0,530	0,425
0,80	0,710	0,705	0,645	0,550	0,455
1,00	0,720	0,720	0,660	0,575	0,495
1,20	0,725	0,725	0,675	0,595	0,525
1,50	0,730	0,730	0,690	0,605	0,550
2,00	0,735	0,735	0,695	0,610	0,575

### III. Таблица сопротивлений железных проводов при переменном токе

Сила тока (в амперах)	0,5	1	1,25	1,5	1,7	—
Z железного провода диаметром в 4 мм	10,8	11,35	11,6	12,1	12,6Ω	—
Сила тока (в амперах)	0,5	1	1,25	1,5	1,7	1,9
Z железного провода диаметром в 5 мм	6,5	6,95	7	7,25	7,4	7,8Ω

Примечание: Сопротивление постоянному току провода диаметром 4 мм — 10,5Ω, диаметром 5 мм — 6,3Ω.

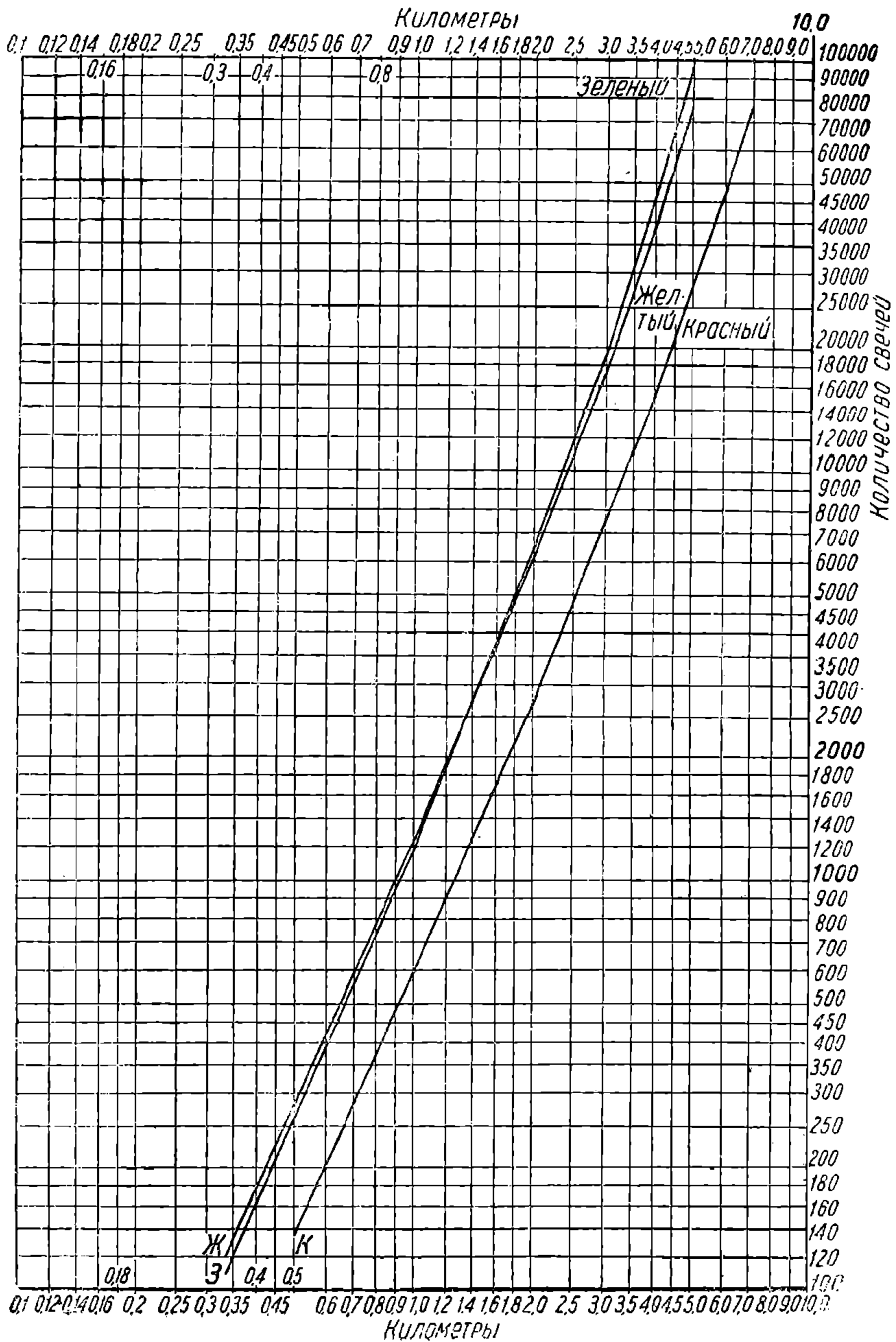


Рис. 107. Номограмма видимости светофоров.

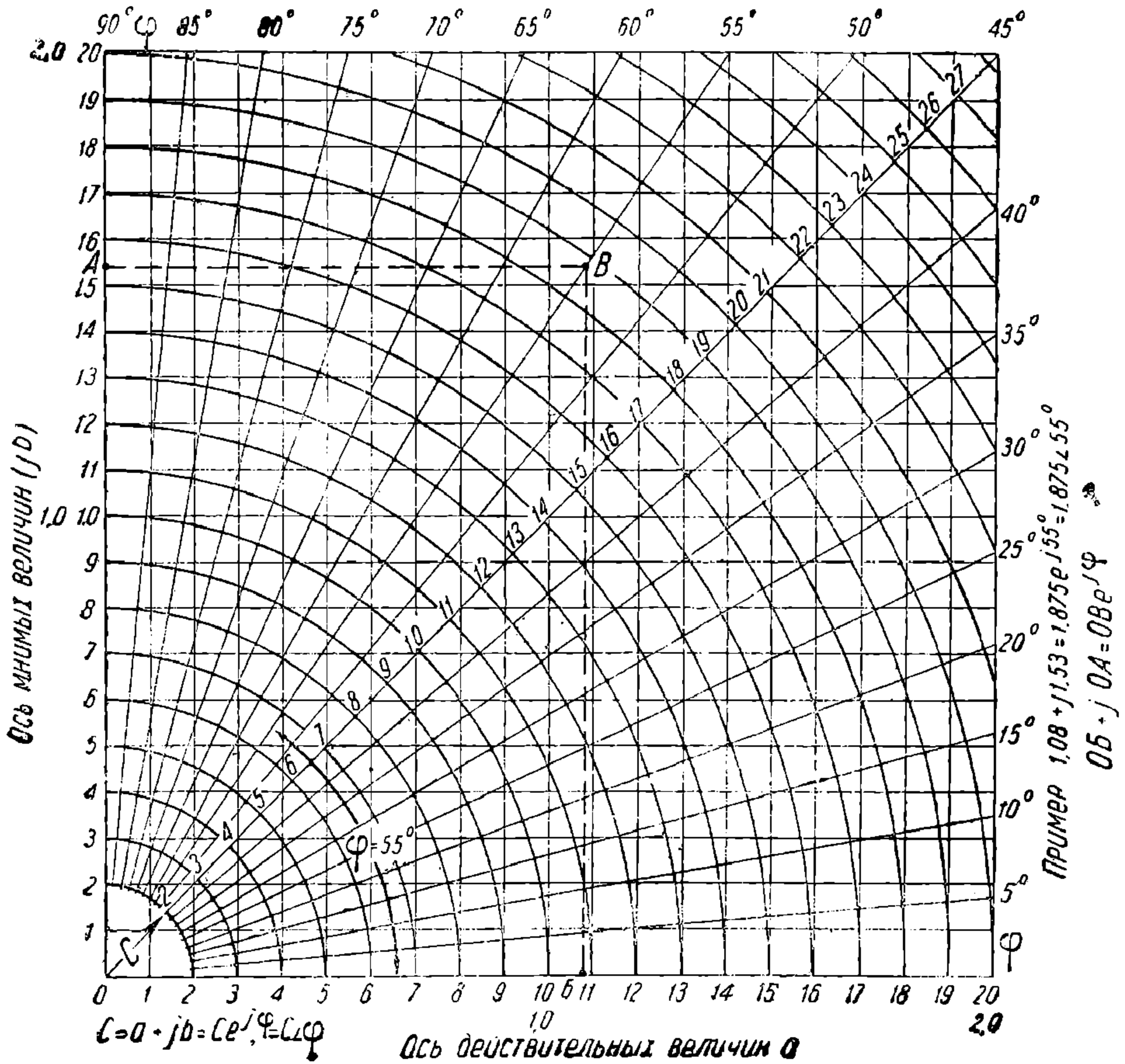


Рис. 108а. График для перевода комплексных чисел из алгебраической формы в показательную и обратно

Таблица обозначений электрических величин, применяемых при расчетах рельсовых цепей

- $I$  и  $V$  — общее обозначение тока и напряжения,  
 $E$  — электродвижущая сила батареи.  
 $I_a$  и  $V_a$  — ток и напряжение на батарейном питающем конце при свободной рельсовой цепи.  
 $I_{аш}$  и  $V_{аш}$  — то же при шунтированной рельсовой цепи.  
 $I_0$  и  $V_0$  — ток и напряжение на релейном конце свободной рельсовой цепи.  
 $I_{еш}$  и  $V_{еш}$  — то же при шунтированной рельсовой цепи.  
 $I_б$  и  $V_б$  — ток и напряжение у ответвления сосредоточенной утечки баласта при свободной рельсовой цепи.  
 $I_{бш}$  и  $V_{бш}$  — то же при шунтированной рельсовой цепи.  
 $I_p$  и  $V_p$  — рабочий ток и напряжение на зажимах реле.  
 $I_g$  — ток в стыковом дросселе.  
 $V_m$  — напряжение на клеммах трансформатора.  
 $I_k, I_x, V_k$  и  $V_x$  — ток и напряжение короткого замыкания и холостого хода.  
 $g$  и  $G$  — удельная ( $\Omega/\text{км}$ ) и общая проводимость баласта.  
 $r$  и  $R$  — удельное ( $\Omega/\text{км}$ ) и общее сопротивление рельсовой цепи.  
 $r_б$  и  $R_б$  — удельное ( $\Omega/\text{км}$ ) и общее сопротивление утечки.  
 $R_в$  — внутреннее сопротивление батареи.  
 $R_p$  — сопротивление обмоток реле.  
 $R_c$  — сопротивление соединительных проводов.  
 $R_{pc}$  — сопротивление реле и соединительных проводов.  
 $Z$  и  $R_k$  — комбинированное сопротивление всей рельсовой цепи.  
 $R_р$  — сопротивление рельсов для эквивалентной цепи.  
 $R_{бв}$  и  $G_б$  — сопротивление и проводимость утечки для эквивалентной цепи.  
 $\delta_a$  и  $\delta_e$  — позиционные углы начала и конца рельсовой цепи.  
 $\delta_{pc}$  — позиционный угол нагрузки (реле с соединительными проводами).  
 $R_0$  и  $Z_0$  — величина ограничивающего (регулируемого) сопротивления, омического и реактивного.  
 $Z_g$  — полное сопротивление стыкового дросселя.  
 $R_{ш}$  — сопротивление поездного шунта.  
 $Z_\lambda$  — волновое сопротивление рельсовой цепи.  
 $z$  и  $Z$  — удельное и общее полное сопротивление рельсовой цепи.  
 $x$  и  $X$  — удельное и общее индуктивное сопротивление рельсовой цепи.  
 $\omega$  — круговая частота.  
 $f$  — частота переменного тока.  
 $\varphi$  — угол сдвига фаз.  
 $l$  — длина рельсовой цепи в километрах.  
 $\gamma$  — коэффициент затухания рельсовой цепи;  $\gamma l = \Theta$ .

Основные построения для графического метода расчета рельсовых цепей, разработанного автором

Разработанный автором графический метод расчета рельсовых цепей базируется на графических способах:

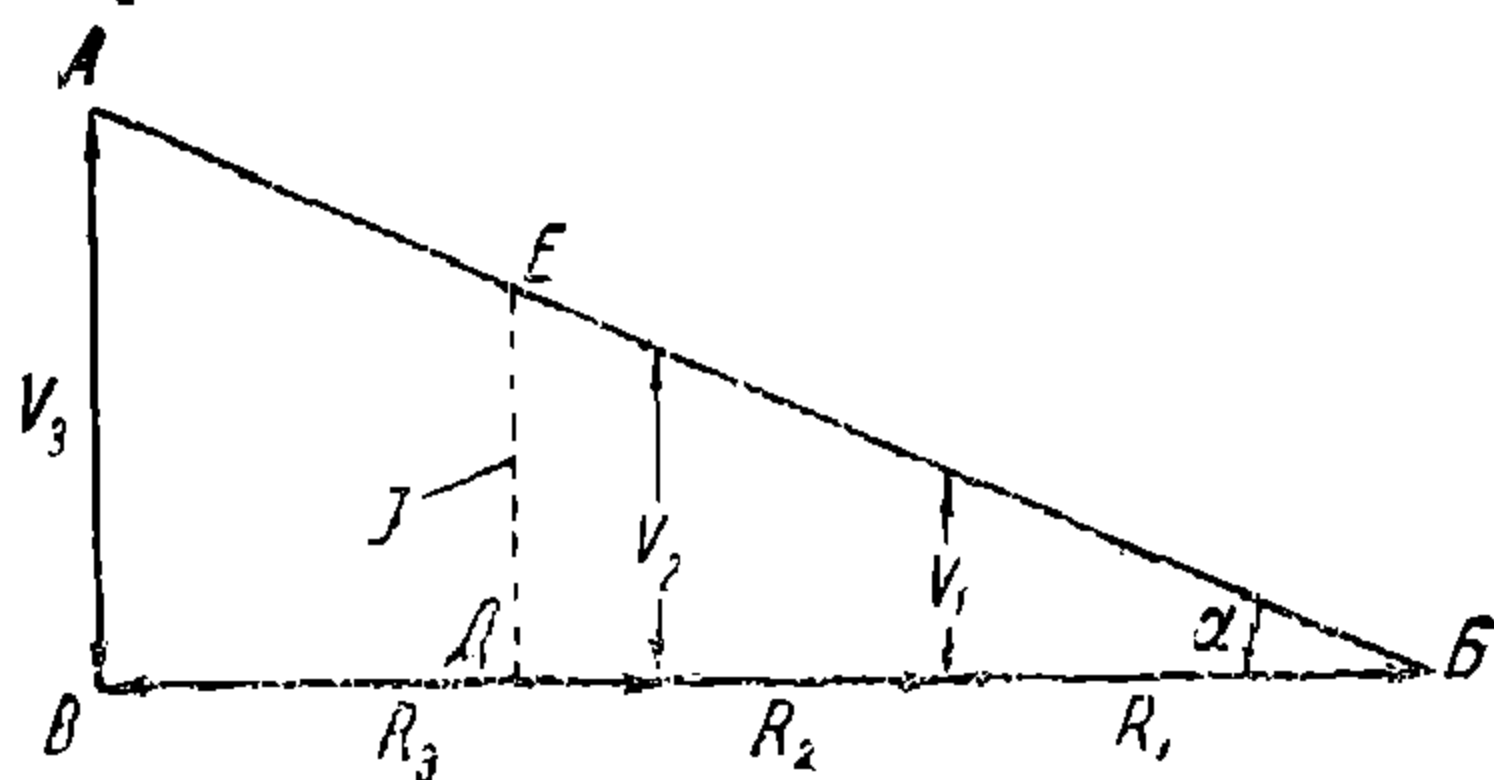


Рис. 109. График падения напряжения.

а) нахождения распределения напряжения в цепи <sup>1</sup> и

б) нахождения комбинированного сопротивления двух параллельно включенных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ .

Первый способ состоит в следующем: если по оси абсцисс откладывать в масштабе последовательно сопротивления цепи  $R_1, R_2, R_3, \dots$  (рис. 109), а на конечной ординате  $AB$  отложить действующую в цепи разность напряжений  $V_3$ , то, приняв

<sup>1</sup> Круг, Основы электротехники. Том. I. Научно-технич. изд. 1931 г., стр. 92.

НТБ  
ДНУЖТ

напряжение точки  $B$  за исходное и соединив точки  $A$  и  $B$ , мы получим, что наклонная  $AB$  будет изображать распределение напряжений вдоль всей цепи; в частности, в конце сопротивления  $R_1$  будет напряжение  $V_1$ , в конце сопротивлений  $R_1 + R_2$  — напряжение  $V_2$  и т. д.

Угол  $\alpha$  при вершине  $B$  определяется из уравнения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{BB}.$$

Так как

$$AB = V_3 \quad \text{и} \quad BB = R_2 + R_2 + R_3,$$

то

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_3}{R_1 + R_2 + R_3} = I,$$

т. е. величина тангенса угла  $\alpha$  будет представлять силу тока, протекающего по цепи. Величина силы тока  $I$  может быть найдена в масштабе напряжений по рис. 109, если отложить на линии  $BB$  отрезок  $BD$ , равный единице сопротивления, т. е. одному ому, и восстановить перпендикуляр  $DE$  к  $BB$ ; тогда, измерив отрезок  $DE$  в масштабе, равном масштабу напряжений, получим силу тока  $I$ .

Второе построение, служащее для графического нахождения комбинированного сопротивления  $R_K$  параллельно включенных сопротивлений, осуществляется таким образом (рис. 110): по концам произвольного отрезка прямой  $AB$  проводятся перпендикуляры  $AD$  и  $BG$ , на которых откладываются в принятом масштабе параллельно включенные сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ ; соединив прямыми точками  $A$  с  $G$  и  $B$  с  $D$ , опускаем из точки пересечения указанных линий перпендикуляр  $ED$  на линию  $AB$ ; этот перпендикуляр  $ED$  и будет изображать в принятом масштабе сопротивлений комбинированное сопротивление  $R_K$  двух параллельно включенных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , изображенных векторами  $AD$  и  $BG$ . Действительно, из подобия треугольников  $AED$  и  $AGB$ , а также  $BED$  и  $BDA$  следует, что:

$$\frac{AB}{BG} = \frac{AD}{ED}$$

и

$$\frac{AB}{AB} = \frac{BD}{ED}.$$

Сложив полученные пропорции, получим:

$$\frac{AB}{BG} + \frac{AB}{AB} = \frac{AD + BD}{ED},$$

или

$$AB \left( \frac{1}{BG} + \frac{1}{AB} \right) = \frac{AB}{ED}$$

После сокращения на  $AB$  имеем:

$$\frac{1}{BG} + \frac{1}{AB} = \frac{1}{ED}.$$

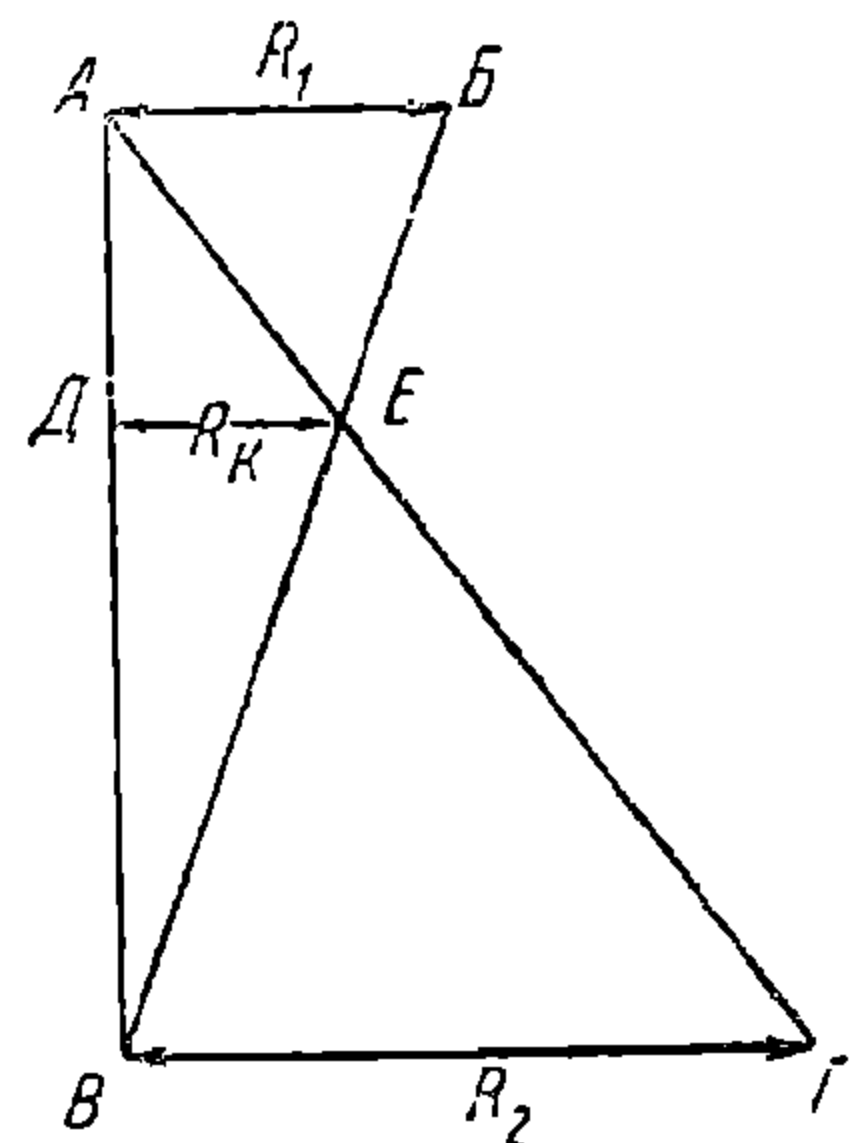


Рис. 110. График нахождения комбинированного сопротивления.

НТБ  
ДНУЖТ  
113

Так как  $ВГ$  и  $АБ$  в определенном масштабе представляют сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ , то обратными их величинами будут проводимости. Сложив проводимости параллельно включенных ветвей, получим общую проводимость; следовательно, согласно последнему полученному уравнению  $\frac{1}{ЕД}$  является общей проводимостью двух параллельно включенных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  (соответствующих векторам  $АБ$  и  $ВГ$ ), а  $ЕД$ —их общим комбинированным сопротивлением.

В графическом методе расчета рельсовых цепей и используются описанные выше построения, для чего по оси абсцисс откладываются все последовательно включенные в рельсовую цепь сопротивления, а по оси ординат либо откладываются напряжения, действующие в тех-или иных точках рельсовой цепи, и в результате определяется сила тока, либо, зная силу тока, определяются получившиеся в разных точках цепи напряжения.

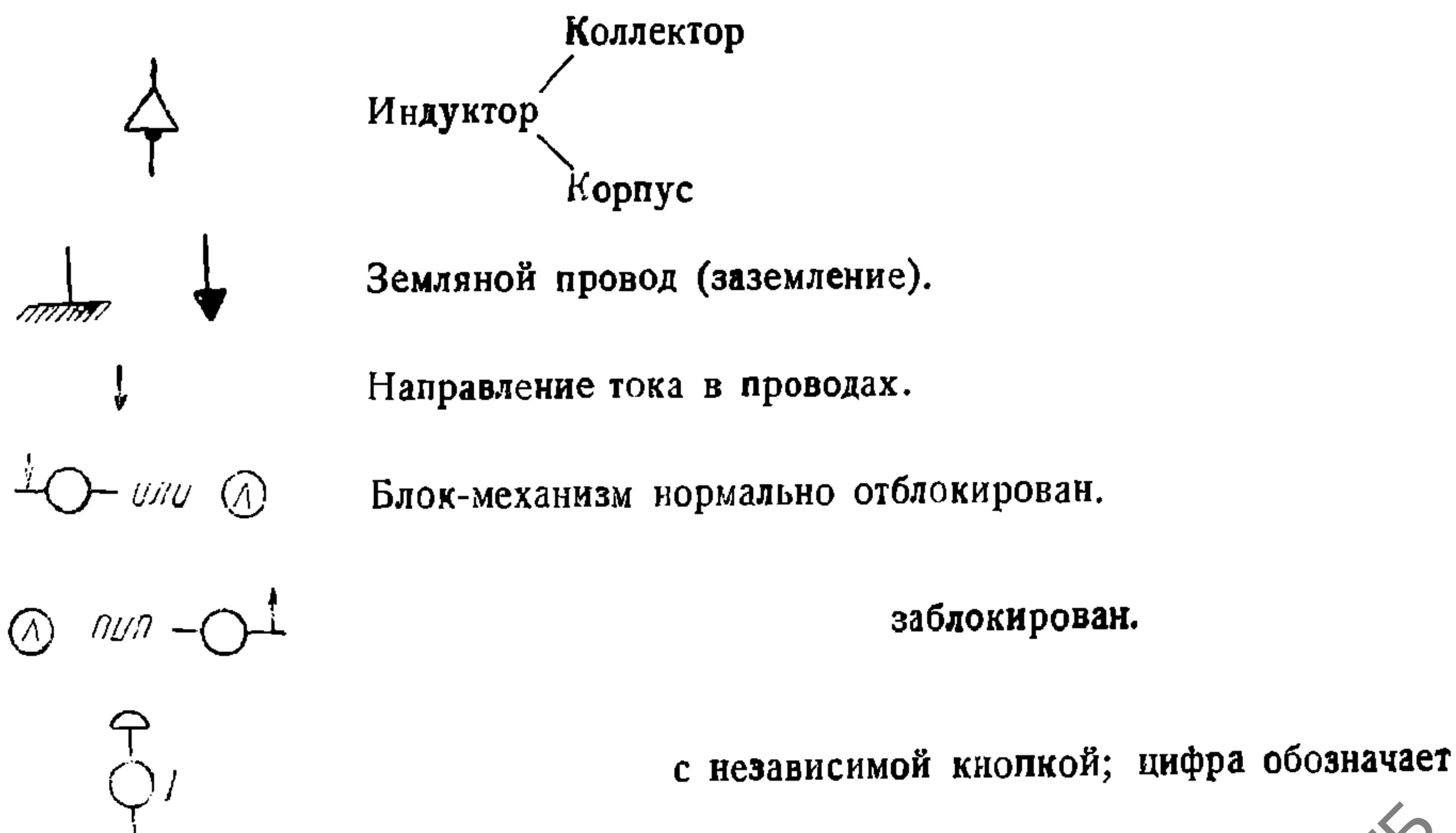
### Приложение IX

Таблица ориентировочных нагрузок для разного рода сигнальных установок автоблокировки

№№ по пор.	Род сигнальной установки	Ваттная мощность	Безваттная мощность
1	Одиночная сигнальная установка (входной сигнал).	70	122
2	Двойная сигнальная установка . . . . .	110	150
3	Группа выходных сигналов двухпутного разъезда	110	150
4	То же—трехпутного .	125	170
5	То же четырехпутного .	195	230
6	То же—пятипутного . . . .	210	250
7	Междусигнальное питание	50	115

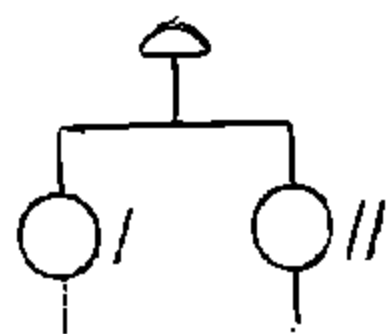
### Приложение X

#### Условные обозначения для развернутых схем

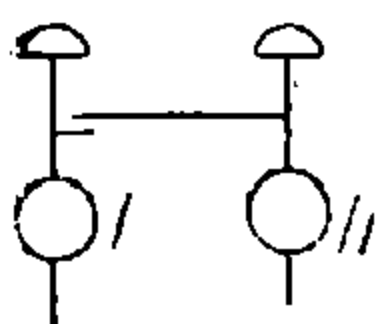


НТБ  
ДНУЖТ

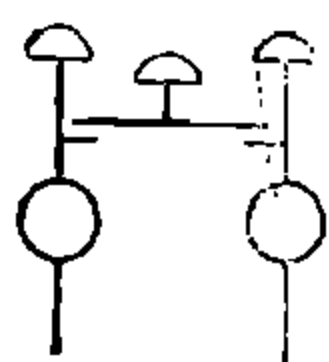
№ блок-механизма



Блок-механизмы, постоянно спаренные.



Из блок-механизмов 1-й может работать независимо, либо оба работают спаренно.



Блок-механизмы, могущие работать как спаренно, так и каждый независимо.

- П. О. Путьной блок-механизм отправления.
- П. П. " " приема.
- П. С. Блок-механизм получения соглашения.
- Д. С. " " дачи соглашения.

Разновидности контактов

Обозначения в развернутых схемах.		Вид коммутации:	Пояснение контакта.
Управляемые от ригельного стержня.	Управляемые от нажимного стержня.		
			<p>Полный переключающий контакт с провода 1 на провод 2 или 3; римская цифра обозначает № блок-механизма.</p> <p>Разрывной контакт, нормально соединяющий провода 1 и 2.</p> <p>То же, нормально разорванный.</p> <p>Нормально замкнутый разрывной контакт присоединения провода 2 к постоянно соединенным проводам 1 и 3.</p> <p>То же, только нормально разомкнутый.</p>



**Цена 2 р. 45 к.**  
**Переплет 55 к.**



---

**И з д а н и я**  
**Трансжелдориздата**  
**продаются в магазинах**  
**Книготоргового**  
**объединения ОГИЗа**  
**Единичные экземпляры**  
**высылает наложенным**  
**платежом**  
**„Книга-почтой“.**  
**Москва, 64.**

---

Сканировала Шевченко О.Г.

НТБ  
ДНУЖТ