

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Государственное образовательное учреждение высшего образования
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
к выполнению контрольной работы по дисциплине
«Электроснабжение железных дорог»

для обучающихся по дополнительной образовательной
программе профессиональной переподготовки
(на право ведения нового вида профессиональной деятельности)
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на электрифицированных железных дорогах мира используются в основном системы тягового электроснабжения постоянного тока, преимущественно с напряжением в контактной сети 3 кВ, и переменного тока с напряжением 25 кВ, частотой 50 Гц или 15 кВ, 16 2/3 Гц соответственно. Эти системы электрической тяги появились 70 - 100 лет назад, и в настоящее время общая протяженность линий, электрифицированных на постоянном и переменном токе, примерно одинакова /1/.

При проектировании вновь электрифицируемых участков и определении пропускной способности уже электрифицированных участков железных дорог особую роль играет расчет системы тягового электроснабжения /2/. К методам расчета, построенным на использовании заданного графика движения, относятся:

- метод равномерного сечения графика движения поездов;
- метод характерных сечений графика движения поездов;
- метод непрерывного исследования графика движения поездов.

В работе обучающимся предлагается произвести построение мгновенных схем методом равномерного сечения графика движения поездов и произвести расчет мгновенных схем приложения нагрузок при параллельной схеме соединения контактных подвесок двухпутного участка межподстанционной зоны.

1. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Задачами контрольной работы являются:

- 1.1. Построение эпюр токораспределения тяговой нагрузки.
- 1.2. Расчет потери напряжения, мощности и энергии на фидерной зоне при двухстороннем питании от подстанций А и В.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- 2.1. Тип контактной подвески – Приложение 1, табл. П.1.1.
- 2.2. Мощность преобразовательного агрегата тяговых подстанций – Приложение 1, табл. П.1.1.
- 2.3. Мощность к.з. на шинах распределительного устройства, к которым подключен тяговый трансформатор – Приложение 1, табл. П.1.1.
- 2.4. График движения поездов – Приложение 2.
- 2.5. Кривые поездного тока четного и нечетного направлений – Приложение 2.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Расчет токораспределения производится по формулам:

$$I_{\Phi A} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n \left[I_i \cdot (l - l_i) \right], \quad (1)$$

$$I_{\Phi B} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n [I_i \cdot l_i], \quad (2)$$

где l – длина межподстанционной зоны, км;
 l_i – расстояние от нагрузки до расчетной тяговой подстанции, км;
 I_i – ток нагрузки, А;
 n – количество нагрузок на мгновенной схеме.

Расчет потери напряжения на внутреннем сопротивлении тяговых подстанций определяется:

$$\Delta U_{ТП} = I_{\Phi} \cdot \rho, \quad (3)$$

где I_{Φ} – ток тяговой подстанции, А;
 ρ – внутреннее сопротивление тяговой подстанции, Ом.

$$\rho = \frac{U_0}{I_{ном}} A \left(\frac{u_k}{100 \cdot n} + \frac{S_{ном}}{S_{к.з.}} \right), \quad (4)$$

где U_0 – напряжение холостого хода на шинах выпрямленного тока, 3300 В;
 $I_{ном}$ – номинальный ток одного выпрямительного агрегата, 3000 А;
 $A = 0,5$ – коэффициент относительного наклона внешней характеристики агрегата;
 $u_k = 8 \%$ – напряжение короткого замыкания трансформаторов преобразовательного агрегата;
 n – число выпрямительных агрегатов на тяговой подстанции (принять равным 2);
 $S_{ном}$ – номинальная мощность первичной обмотки трансформатора одного преобразовательного агрегата (см. исходные данные), МВА;
 $S_{к.з.}$ – мощность короткого замыкания на шинах, от которых получают питание преобразовательные агрегаты (см. исходные данные), МВА.

Далее для каждой эпюры токов необходимо рассчитать потери напряжения и построить графики уровня напряжения в контактной сети на токоприемнике электровазов (всего 6 графиков), определить самый минимальный уровень напряжения в контактной сети из всех 6-ти графиков и сравнить его с допустимым (2700 В согласно ПУСТЭ).

Потери напряжения определяются по эпюре токов по формуле:

$$\Delta U_j = I_j \cdot r \cdot l_j, \quad (5)$$

где I_j – ток на участке мгновенной схемы j , А;
 r – удельное сопротивление контактной сети (определяется по табл. 1), Ом/км,
 l_j – длина участка мгновенной схемы j , км.

Пример размещения кривых поездного тока и графика движения поездов представлен на рис. 1. Пример построения мгновенных схем представлен на рис. 2, а пример построения эпюры токов - на рис. 3. Пример построения графика напряжения в контактной сети представлен на рис. 4.

Значения удельных сопротивлений, а также допустимые значения нагрузок приведены в Приложении 1, табл. П.1.2.

На рис. 4 приведен график уровня напряжения в контактной сети. Из графика видно, что потеря напряжения состоит из потери напряжения на внутреннем сопротивлении тяговых подстанций и потери напряжения в тяговой сети.

Далее необходимо сравнить максимальные нагрузки (максимальное значение тока) контактной подвески с допустимым значением тока для данного типа подвески.

Как известно, ток в контактной сети имеет максимальное значение вблизи тяговой подстанции, так как по закону Кирхгофа ток тяговой подстанции суммируется из разложенных токов нагрузок мгновенной схемы. Тогда исходя из условия параллельного соединения контактных подвесок смежных путей необходимо произвести сравнение половины тока тяговых подстанций с допустимым значением для данного типа контактной подвески [3] и сделать вывод о соответствии контактной подвески максимальной токовой нагрузке.

После этого необходимо произвести расчет расхода и потери мощности на фидерной зоне.

Расчет мощности производится по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^n (I_i \cdot U) = U \sum_{i=1}^n I_i. \quad (6)$$

Расчет потери мощности в контактной сети производится по формуле:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^m (I_i \cdot \Delta U_i), \quad (7)$$

где m - количество отрезков на мгновенной схеме.

Далее производится расчет расхода и потери энергии на расчетной межподстанционной зоне:

$$W = P_{\text{ср}} \cdot 24, \quad (8)$$

$$\Delta W = \Delta P_{\text{ср}} \cdot 24, \quad (9)$$

где $P_{\text{ср}}, \Delta P_{\text{ср}}$ - среднее значение мощности и потери мощности за расчетный период, кВт.

Кроме того, в этом пункте необходимо определить потери энергии в процентах и построить графики изменения расчетных величин во времени (рис. 5).

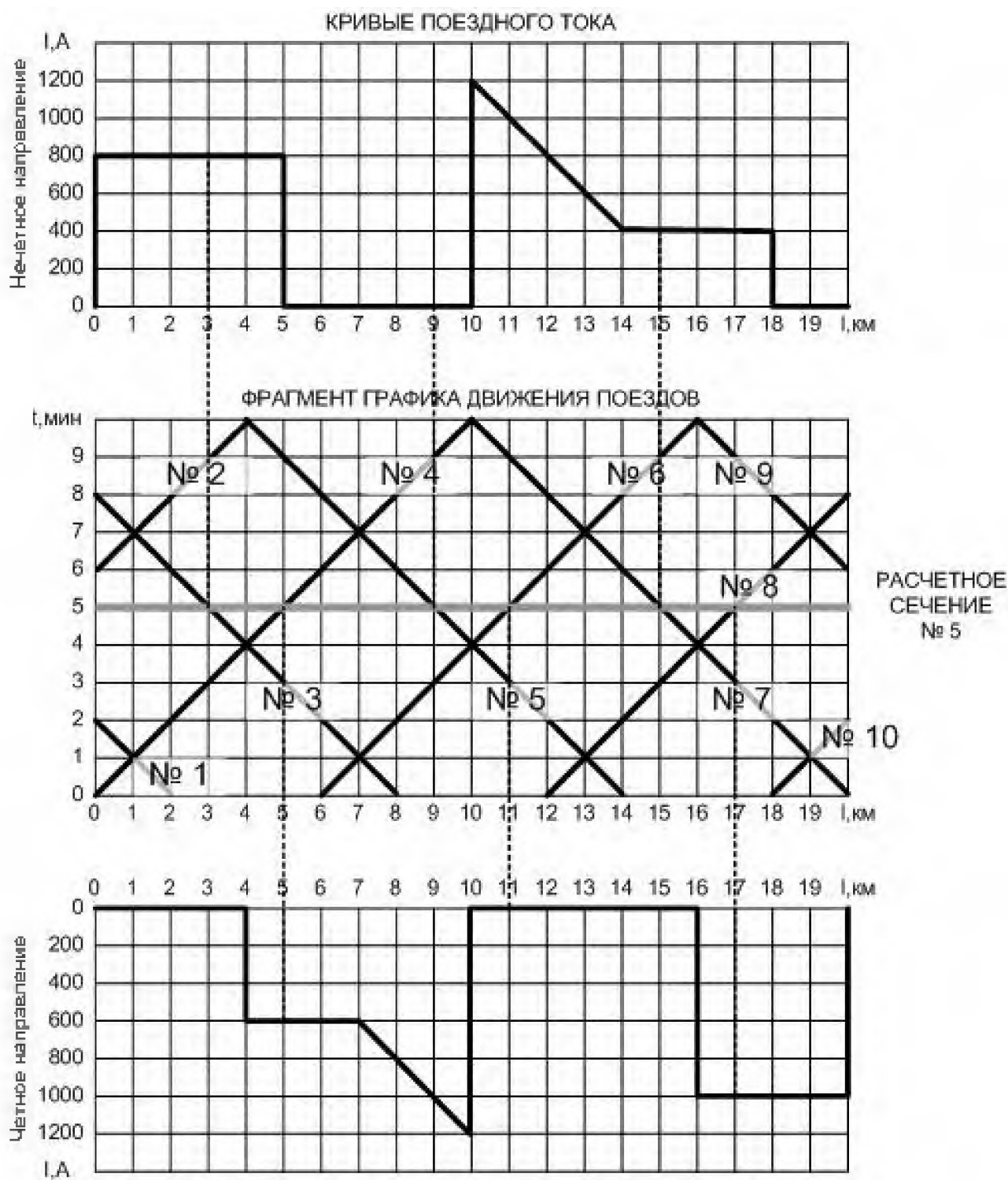


Рис. 1. Пример расположения фрагмента графика движения поездов и кривых поездного тока в контрольной работе.

МГНОВЕННАЯ СХЕМА ПРИЛОЖЕНИЯ НАГРУЗОК
ДЛЯ РАСЧЕТНОГО СЕЧЕНИЯ № 5

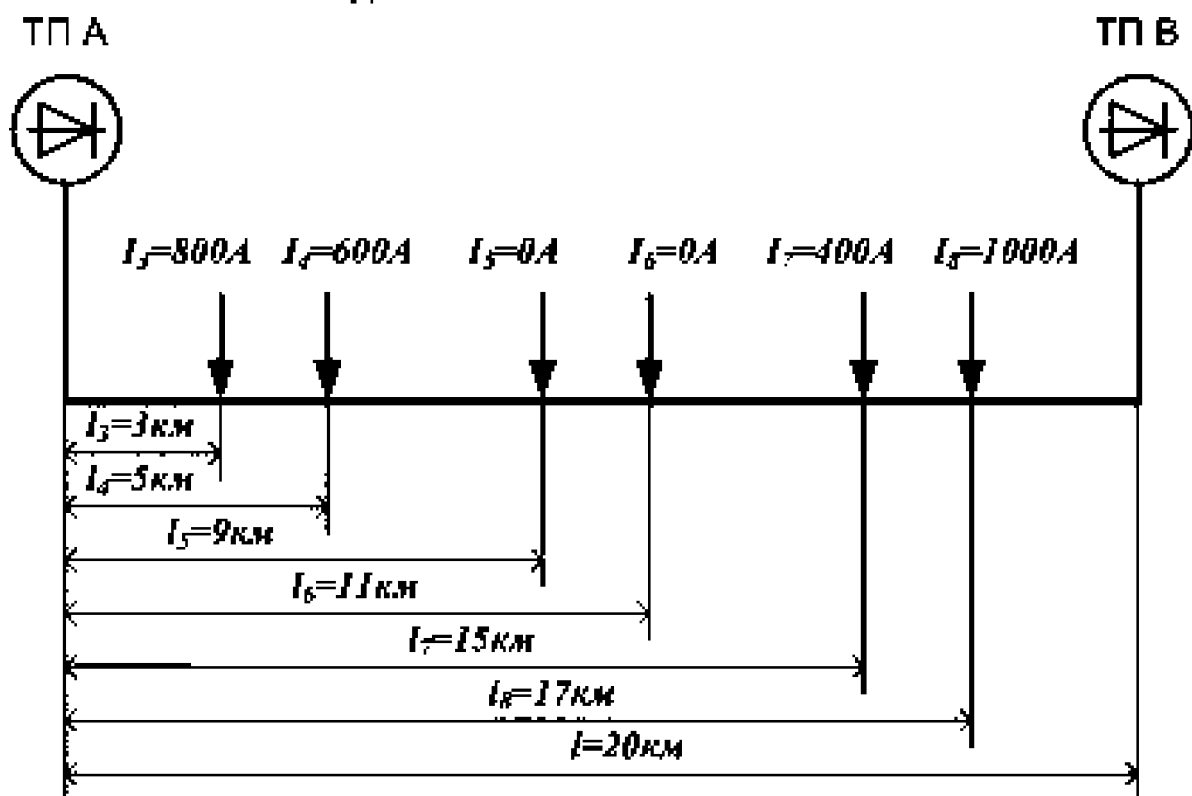


Рис. 2. Пример построения мгновенной схемы приложения нагрузок

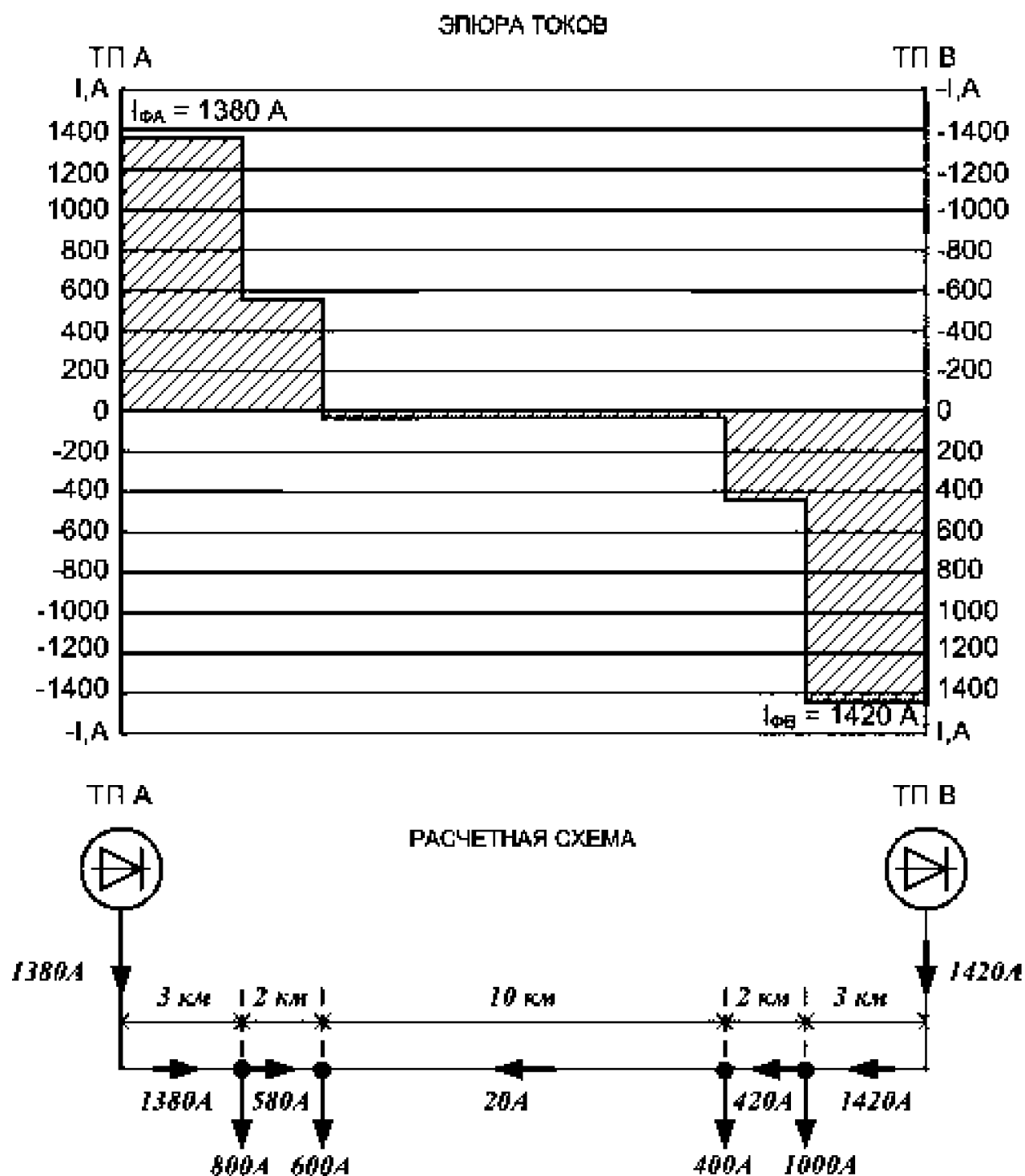


Рис. 3. Пример построения эпюры токов и расчета токораспределения на основе полученной мгновенной схемы приложения нагрузок.



Рис. 4. Пример построения графика уровня напряжения в контактной сети.

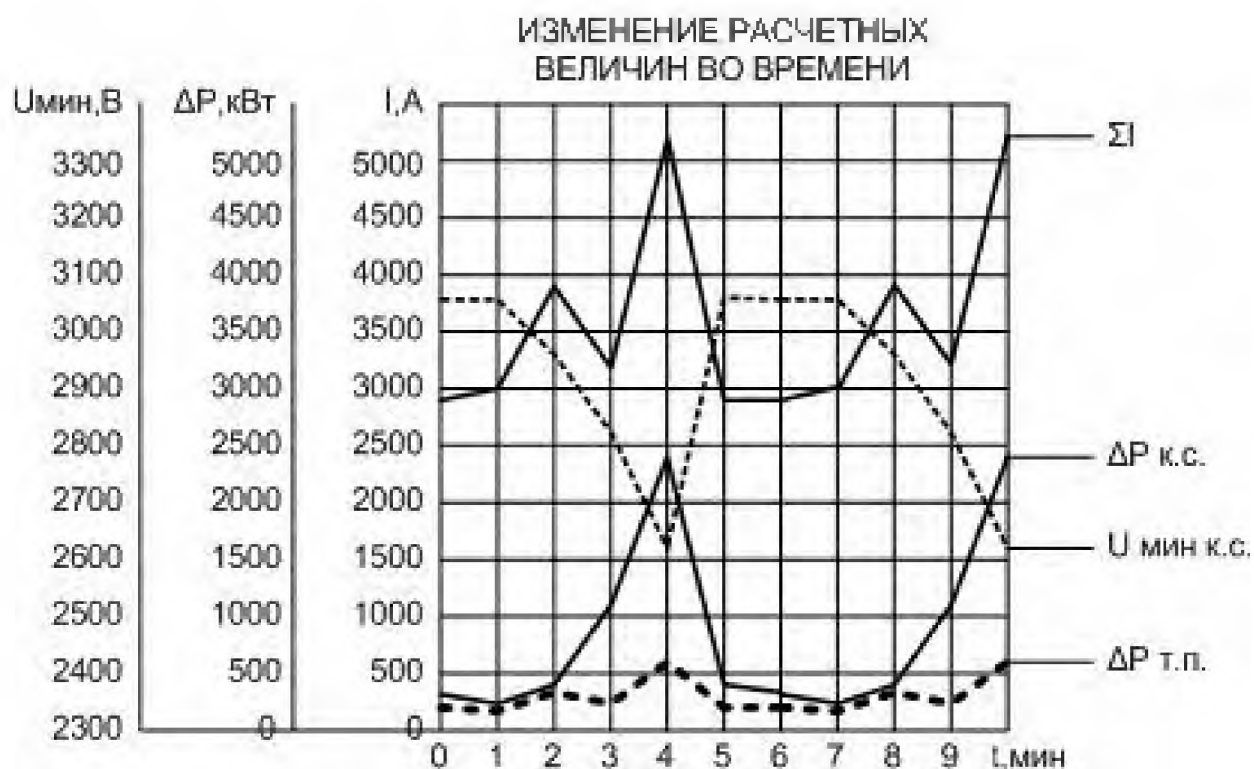


Рис. 5. Пример построения характера изменения расчетных величин во времени.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Перед началом расчета необходимо выбрать исходные данные для расчета:

1. График движения поездов.
2. Кривые поездного тока для четного и нечетного направлений.
3. Тип контактной сети.
4. Мощность короткого замыкания на шинах, от которых получает питание преобразовательный агрегат.
5. Мощность преобразовательного агрегата тяговой подстанции.

Далее необходимо построить 6 сечений графика движения поездов (методом равномерного сечения с интервалом, равном 1-ой минуте) и получить 6 мгновенных схем (с нулевой по пятую). На рис. 1 представлен пример, показывающий, как надо размещать рисунки на чертеже, а на рис. 2 приведена мгновенная схема для расчетного сечения № 5.

Далее для каждого из 6-ти сечений необходимо выполнить следующее:

1. Произвести расчет токораспределения нагрузок на мгновенной схеме и построить эпюру токов. На рис. 3 приведен пример расчета токораспределения и построения эпюры токов.
2. Произвести расчет потери напряжения и построить график уровня напряжения в контактной сети. Найти минимальный уровень напряжения в контактной сети. Сравнить это значение с допустимым значением (2700 В). На рис. 4 показан пример построения графика уровня напряжения в контактной сети.
3. Сравнить максимальные нагрузки контактной сети с допустимым значением для данного типа контактной сети.
4. Произвести расчет расхода и потери мощности в элементах схемы. Построить кривые изменения расчетных величин во времени. Пример построения кривых приведен на рис. 5.
5. Произвести расчет расхода и потери электроэнергии за сутки работы рассматриваемой межподстанционной зоны.

Произведем расчет для пятого сечения (рис. 1 и рис. 2). Произведем расчет токов тяговых подстанций.

Для тяговых подстанций «А» и «В» запишем:

$$I_A = \frac{1}{20} [800 \cdot (20 - 3) + 600 \cdot (20 - 5) + 400 \cdot (20 - 15) + 1000 \cdot (20 - 17)] = 1380 \text{ А};$$

$$I_B = \frac{1}{20} [800 \cdot 3 + 600 \cdot 5 + 400 \cdot 15 + 1000 \cdot 17] = 1420 \text{ А}.$$

Произведем проверку. Сумма токов тяговых подстанций должна быть равна сумме значений токов нагрузок.

$$I_A + I_B = \sum_{i=1}^n I_i.$$

$$\begin{aligned} 1380 + 1420 &= 800 + 600 + 400 + 1000; \\ 2800 &= 2800. \end{aligned}$$

Значения сходятся, расчет верен.

На рис. 3 приведена эпюра токов расчетного сечения.

Как известно, ток в контактной сети имеет максимальное значение вблизи тяговой подстанции. Тогда исходя из условия параллельного соединения контактных подвесок смежных путей произведем сравнение половины тока тяговой подстанции «В» с допустимым значением для данного типа контактной подвески (1630А для М120+2МФ100).

$$\begin{aligned}(1420/2) &< 1630; \\ 710 &< 1630.\end{aligned}$$

Делаем вывод о том, что контактная подвеска соответствует токовой нагрузке. Однако в расчете необходимо учитывать то, что допустимое значение сравнивается с максимальным значением токовой нагрузки среди всех мгновенных схем.

Далее произведем расчет потерь напряжения при следующих значениях мощностей:

$$\begin{aligned}S_{ном} &= 12,5 \text{ МВА}; \\ S_{к.з.} &= 200 \text{ МВА}.\end{aligned}$$

Тогда внутреннее сопротивление тяговых подстанций будет:

$$\rho_{ТП} = \frac{3300}{3000} 0,5 \left(\frac{8}{100 \cdot 2} + \frac{12,5}{200} \right) = 0,056 \text{ Ом}.$$

Потеря напряжения на тяговой подстанции «А»:

$$\Delta U_{ТПА} = 1380 \cdot 0,056 = 77,28 \text{ В}.$$

Потеря напряжения на тяговой подстанции «В»:

$$\Delta U_{ТПВ} = 1420 \cdot 0,056 = 79,52 \text{ В}.$$

Произведем расчет потери напряжения на участках мгновенной схемы.

Для контактной сети марки М120 + 2МФ100 удельное сопротивление контактной сети равно 0,034 Ом/км.

Тогда значения потери напряжения на участках мгновенной схемы будут иметь следующие значения:

на участке тяговая подстанция «А» – первая нагрузка:

$$\Delta U = 1380 \cdot 0,034 \cdot 3 = 140,25 \text{ В};$$

на участке первая нагрузка – вторая нагрузка:

$$\Delta U = 580 \cdot 0,034 \cdot 2 = 39,44 \text{ В};$$

на участке вторая нагрузка – третья нагрузка:

$$\Delta U = 20 \cdot 0,04 \cdot 10 = 6,8 \text{ В};$$

на участке третья нагрузка – четвертая нагрузка:

$$\Delta U = 420 \cdot 0,04 \cdot 2 = 28,56 B;$$

на участке четвертая нагрузка – тяговая подстанция «В»:

$$\Delta U = 1420 \cdot 0,04 \cdot 3 = 144,84 B.$$

$$P = 3,3 \cdot (800 + 600 + 400 + 1000) = 9240 \text{ кВт}.$$

$$\Delta P = (1380 \cdot 140,25 + 580 \cdot 39,44 + 20 \cdot 6,8 + 420 \cdot 28,56 + 1420 \cdot 144,84) / 1000 = 434,22 \text{ кВт}.$$

Подобный расчет произведем для шести других сечений, по полученным значениям построим график изменения расчетных величин во времени (рис. 5).

Определим расход и потери электроэнергии:

$$W = 11440 \cdot 24 = 274560 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta W = 829,3 \cdot 24 = 19903,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Тогда потери энергии за расчетные сутки составят 7,23 %.

5.ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

Контрольная работа выполняется на листах формата А4, все рисунки следует размещать на миллиметровой бумаге формата А4, либо на обычных листах.

Последовательность оформления следующая:

1. Титульный лист.
2. Содержание.
3. Исходные данные.
4. Расчетно-графическая часть.
5. Заключение о проделанной работе и полученных результатах.
6. Список использованных источников.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог.- М.:Транспорт, 1982. - 528 с.
2. Бесков Б.А. и др. Проектирование систем электроснабжения электрических железных дорог.- М.: Трансжелдориздат, 1963. - 471 с.
3. Справочник по электроснабжению железных дорог Т.1 / Под ред. К.Г.Марквардта. - М.:Транспорт, 1980. - 256 с.

Таблица П.1.1

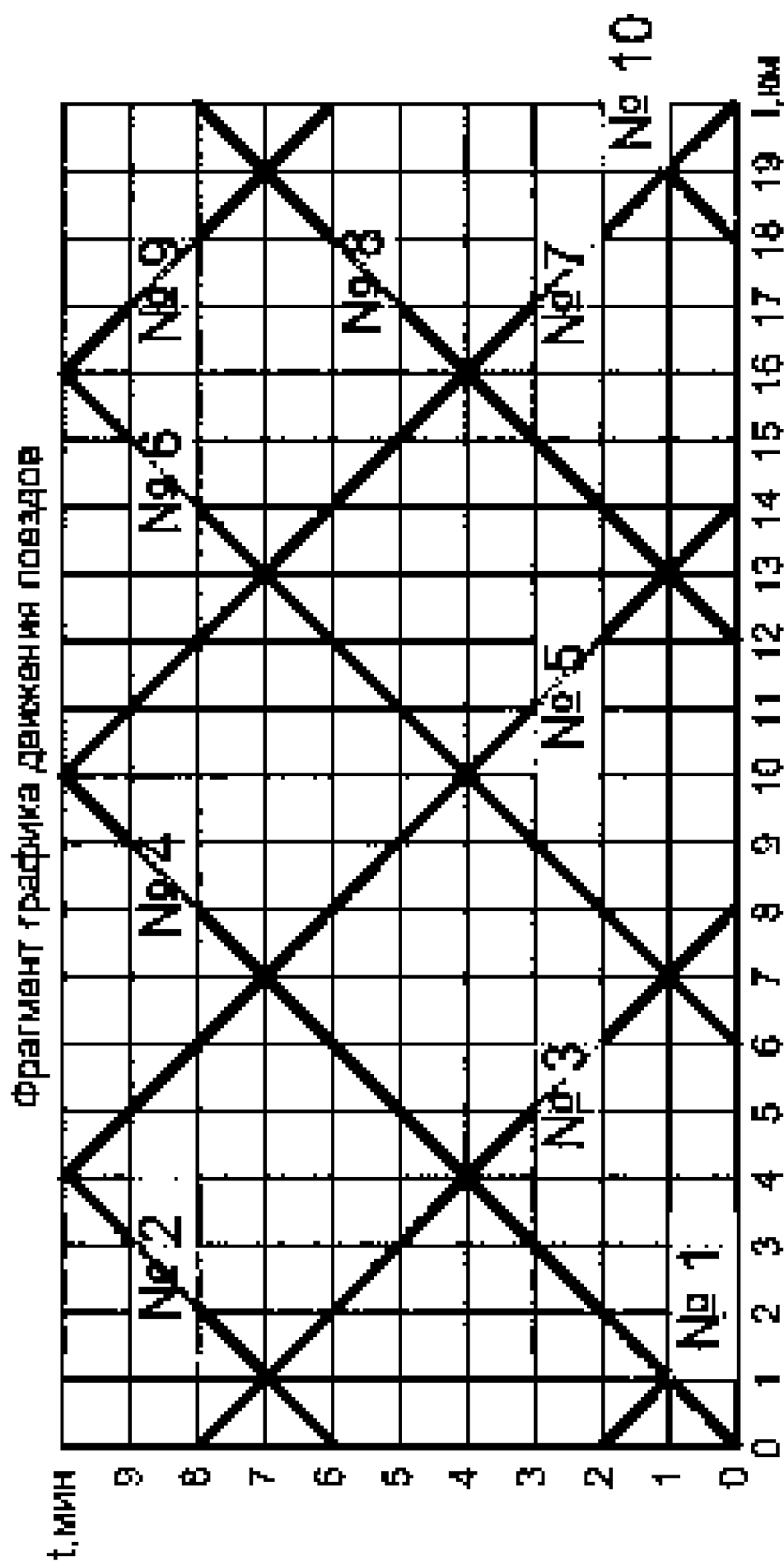
Исходные данные для расчета

Последняя цифра шифра (логина)	Марка проводов контактной сети	Номинальная мощность первичной обмотки преобразовательного трансформатора, МВА	Мощность к. з. на шинах, от которых получают питание преобразовательные агрегаты, МВА
0	M95+2МФ100+ 2A185	12,5	150
1	M120+2МФ100+3A185	16	200
2	M95+2МФ100+ A185	12,5	170
3	M120+2МФ100+A185	16	210
4	M120+2МФ100	12,5	190
5	M120+2МФ150+ 2A185	16	220
6	M120+2МФ100+2A185	12,5	250
7	M120+2МФ150+ A185	16	160
8	M95+2МФ100	12,5	240
9	M120+2МФ150	16	180

Таблица П.1.2

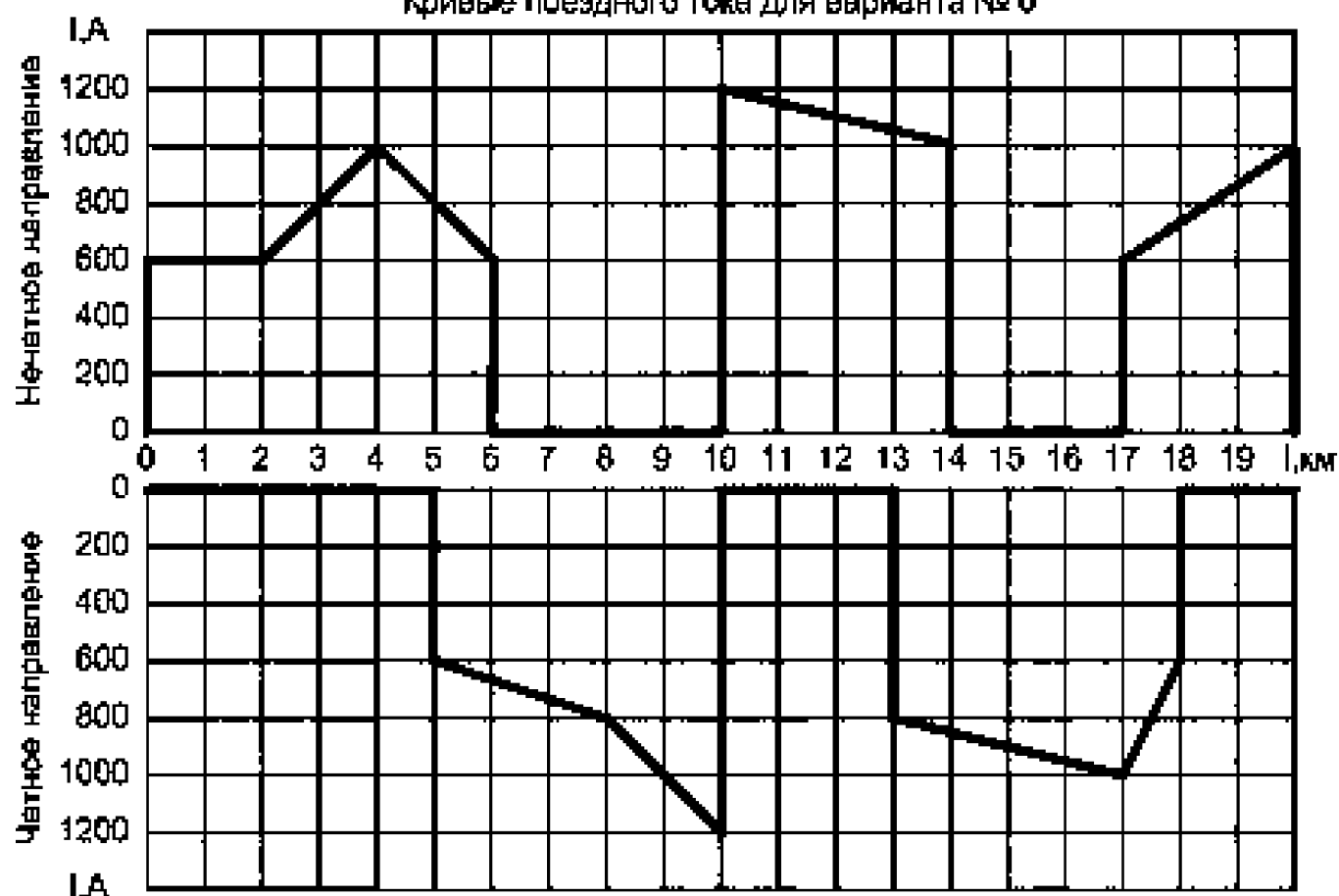
Сопротивление контактной сети

Марка проводов контактной сети	Длит. доп. ток, А	Сопротивление, Ом/км		
		Однопут-ный участок	Двухпутный участок	
			С раздельным и узловым питанием	С парал-лельным питанием
M120+2МФ100	1630	0,070	0,067	0,034
M120+2МФ100+A185	2190	0,054	0,049	0,026
M120+2МФ100+2A185	2770	0,044	0,040	0,021
M120+2МФ100+3A185	3370	0,038	0,034	0,018
M95+2МФ100	1300	0,094	0,089	0,046
M95+2МФ100+ A185	1690	0,064	0,060	0,032
M95+2МФ100+ 2A185	2280	0,049	0,045	0,024
M120+2МФ150	1860	0,062	0,058	0,031
M120+2МФ150+ A185	2260	0,048	0,045	0,024
M120+2МФ150+ 2A185	2930	0,040	0,036	0,020
M120+2МФ150+ 3A185	3520	0,035	0,031	0,017

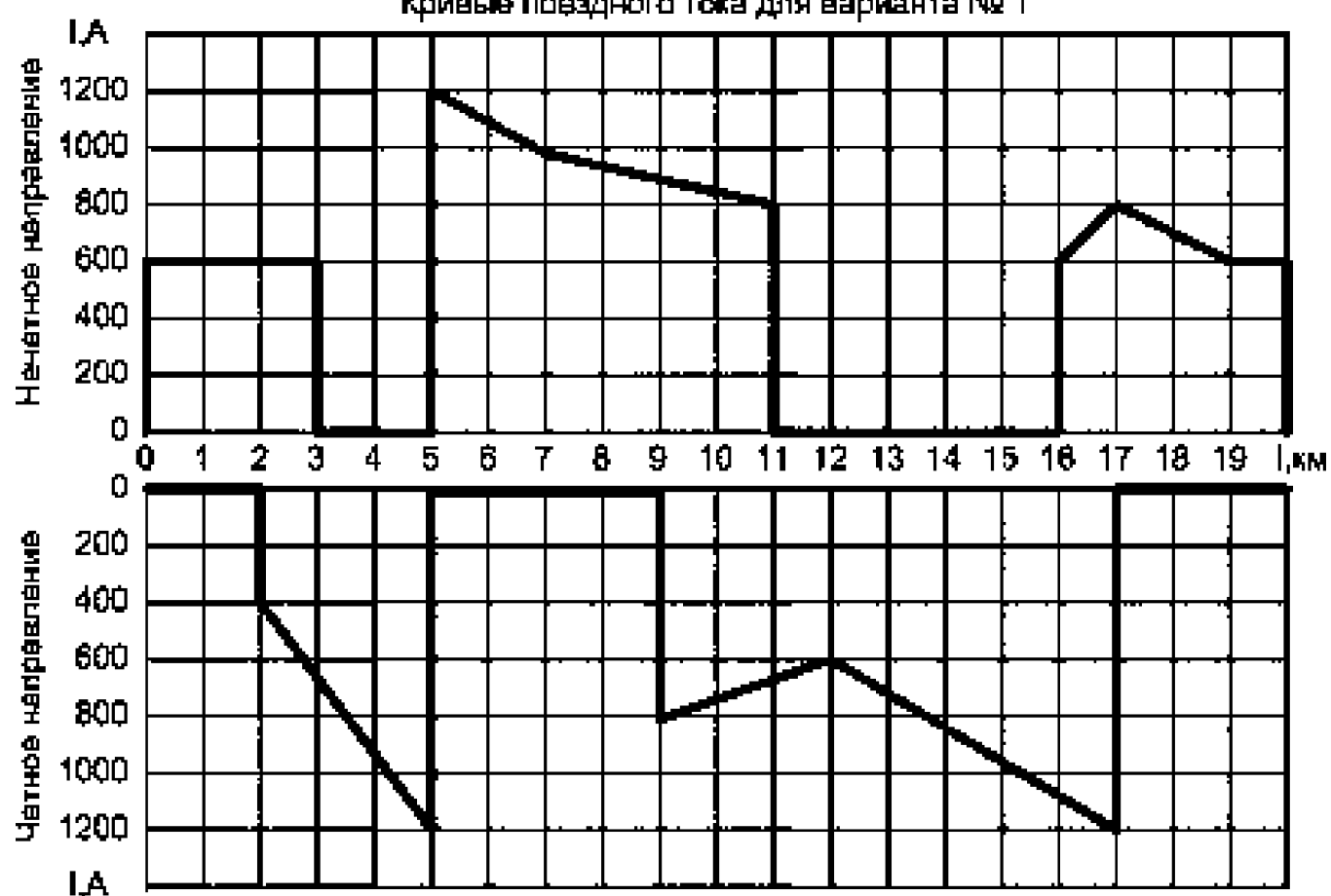


Кривые поездного тока выбираются по последней цифре шифра обучающегося

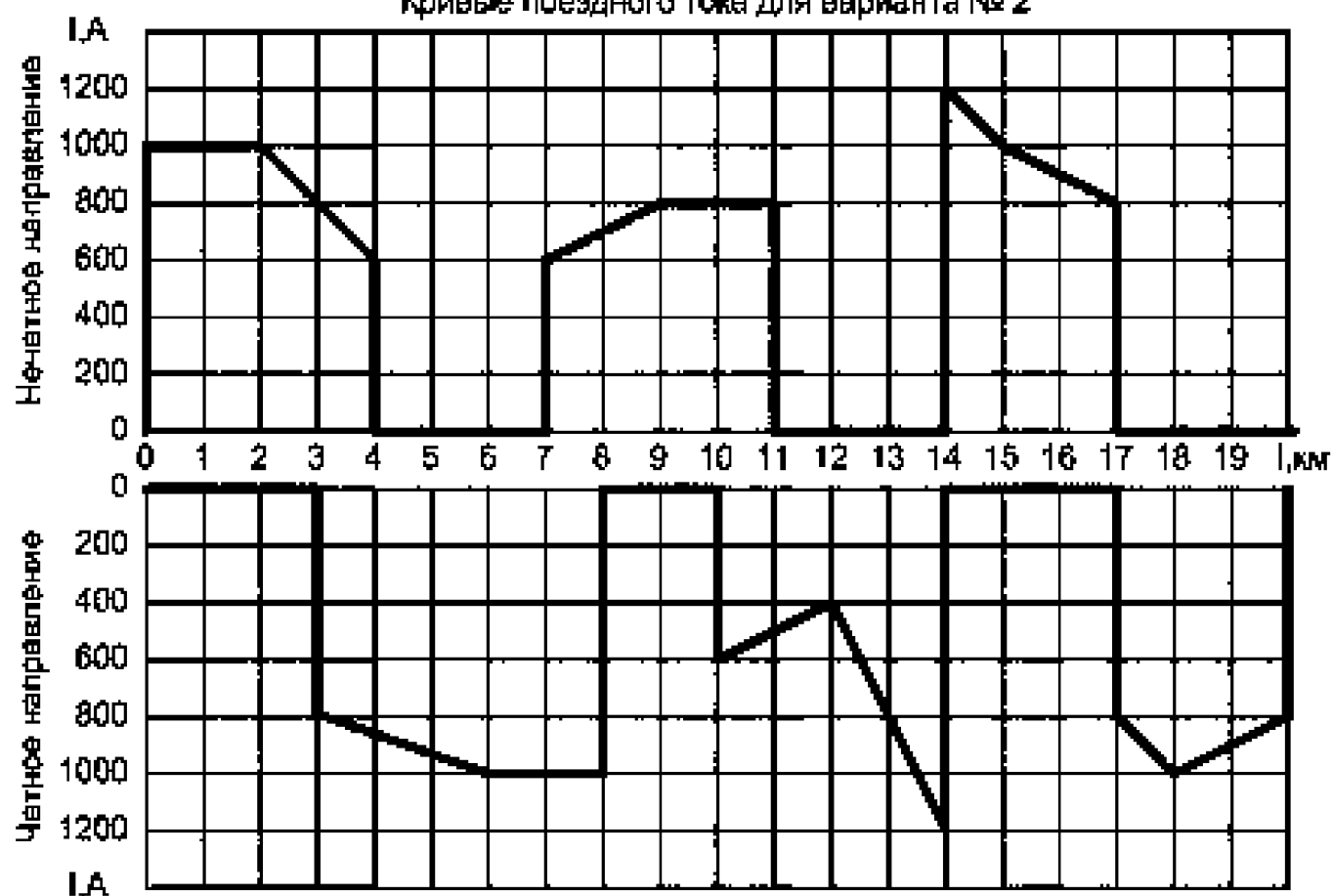
Кривые поездного тока для варианта № 0



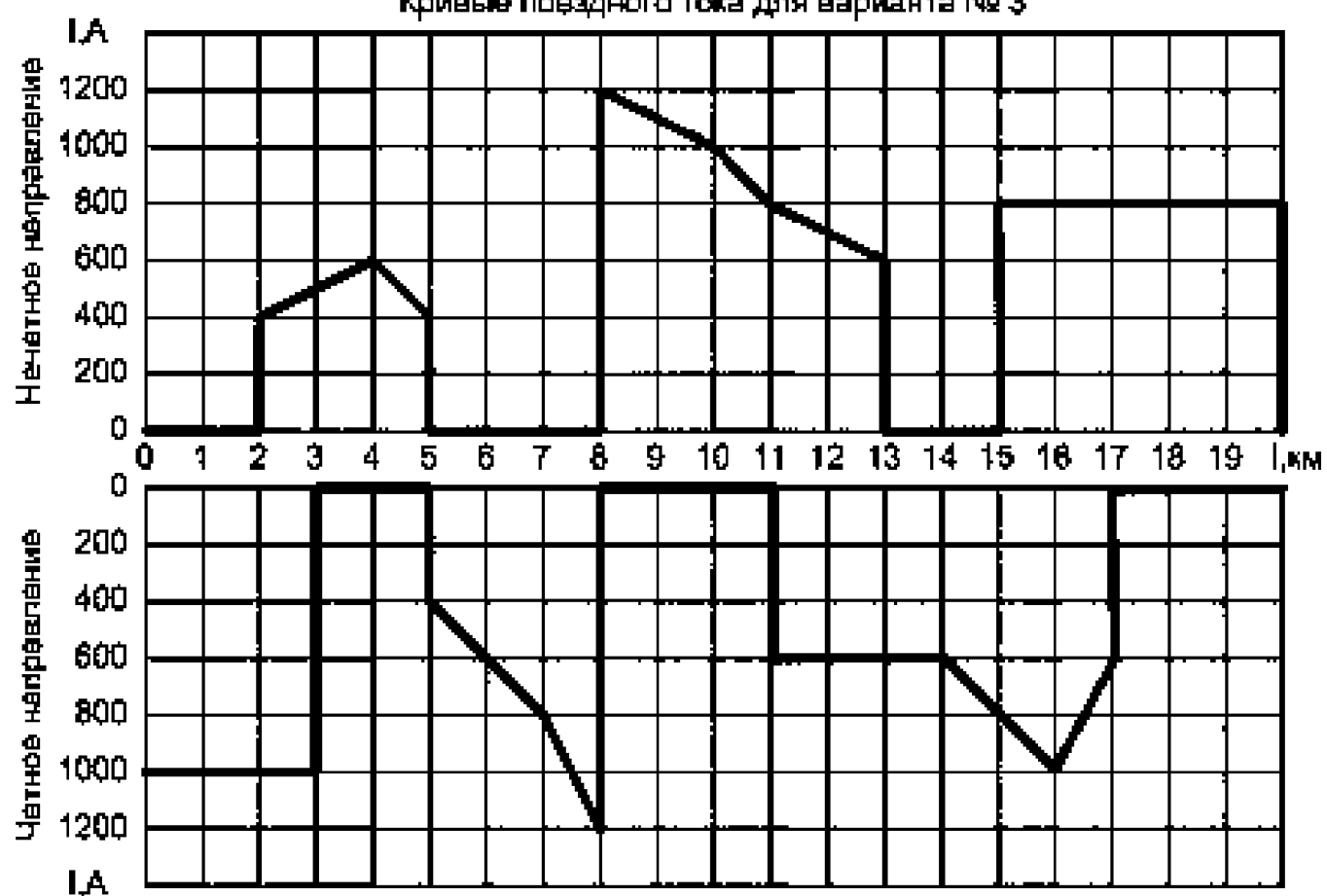
Кривые поездного тока для варианта № 1



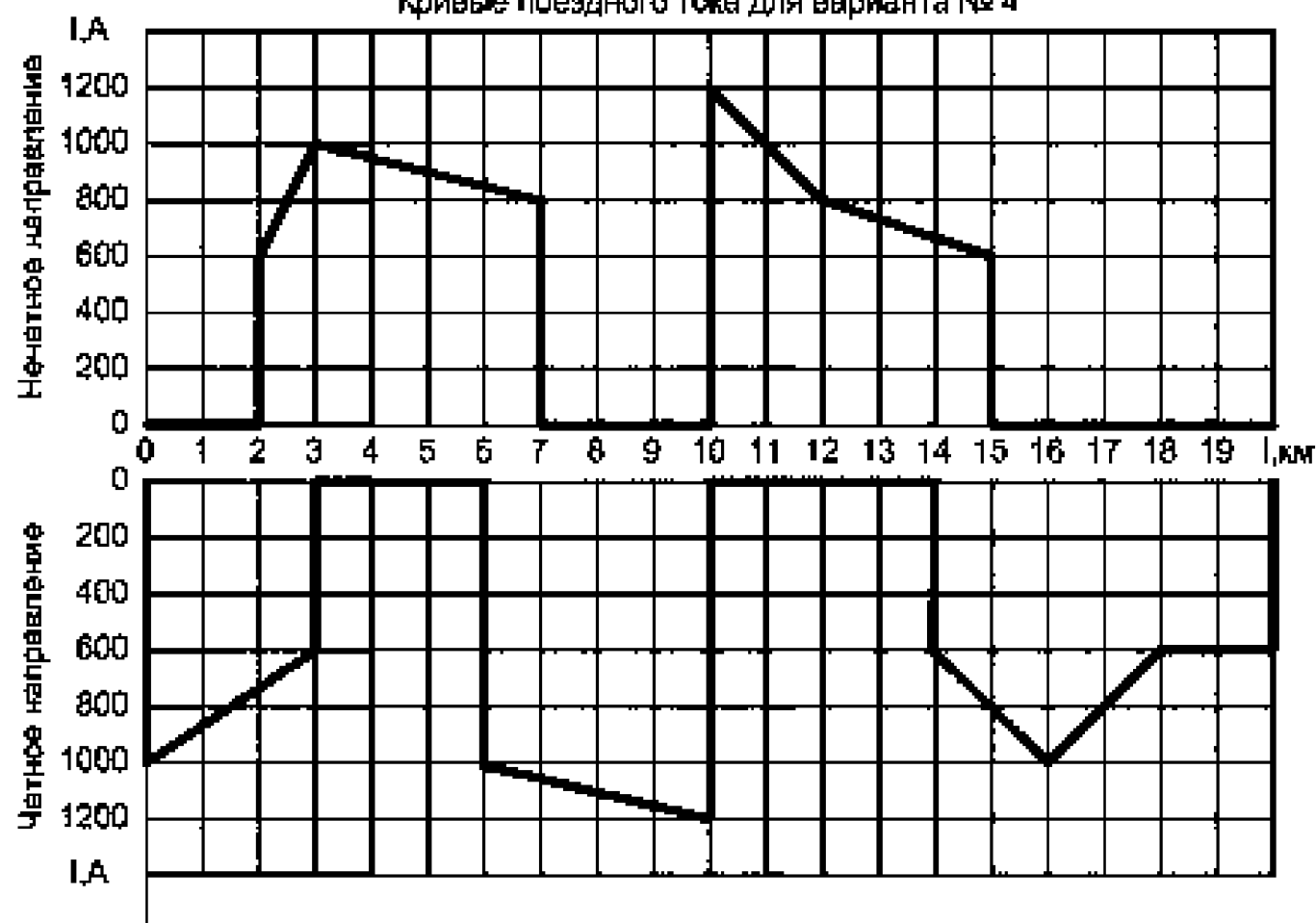
Кривые поездного тока для варианта № 2



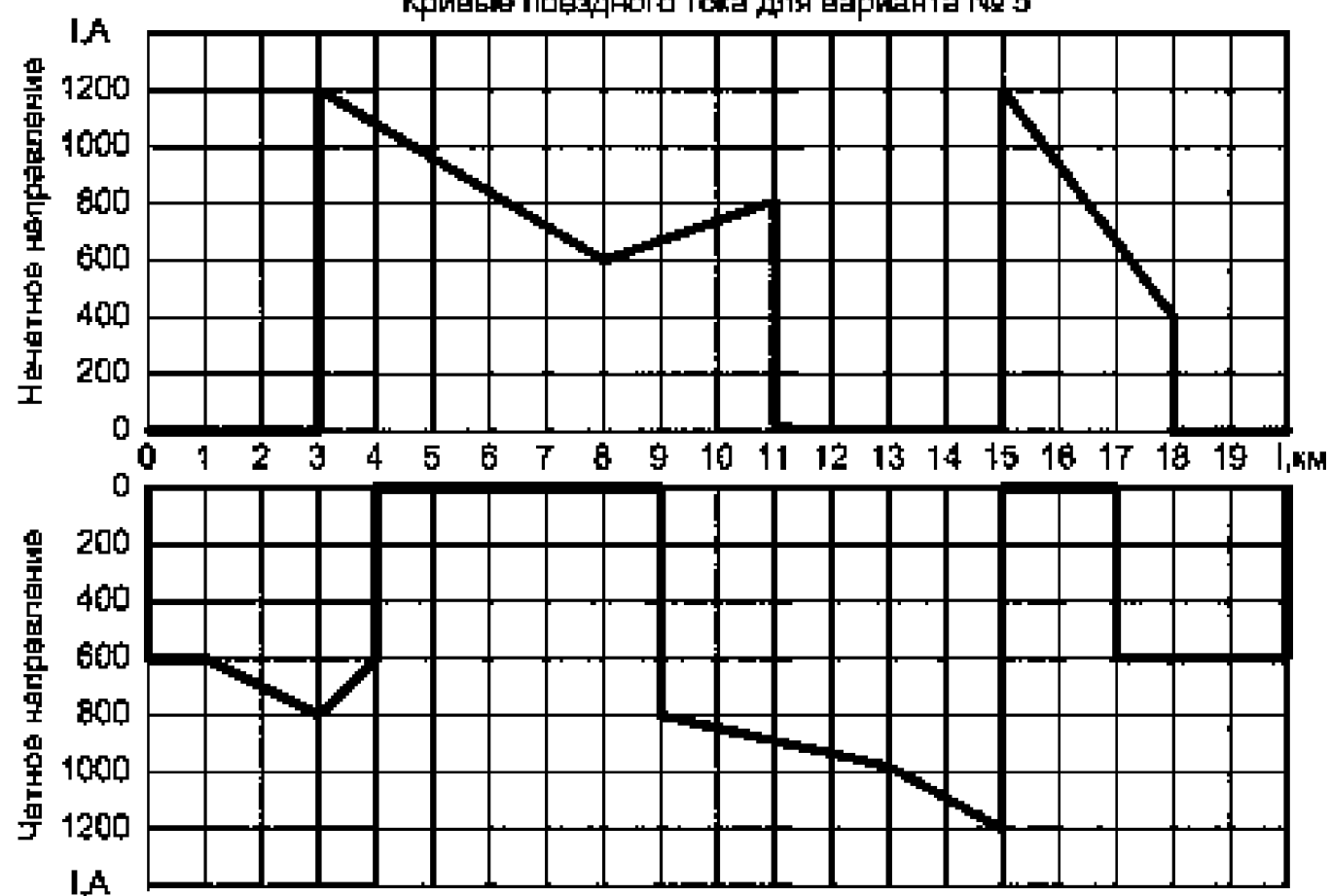
Кривые поездного тока для варианта № 3



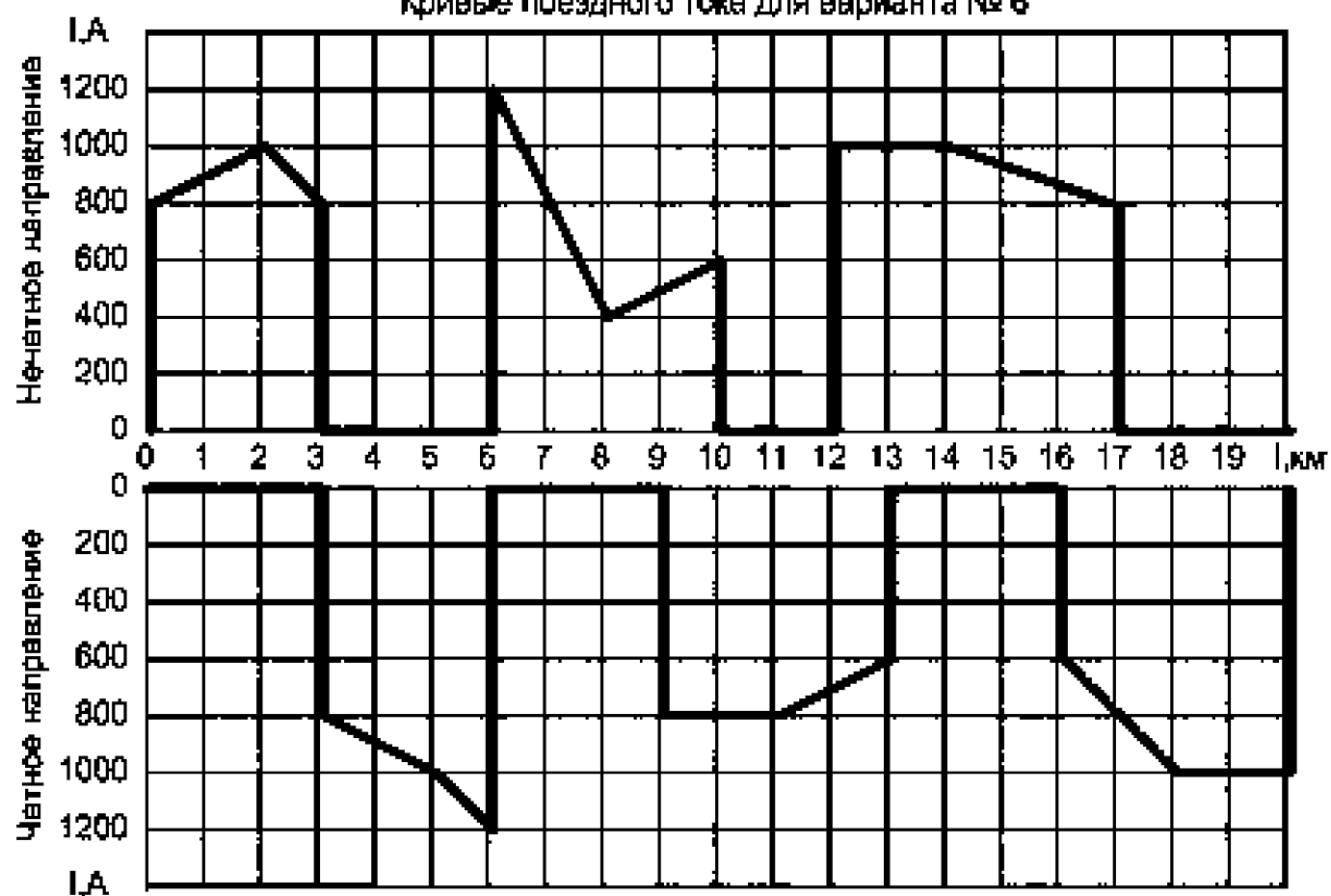
Кривые поездного тока для варианта № 4



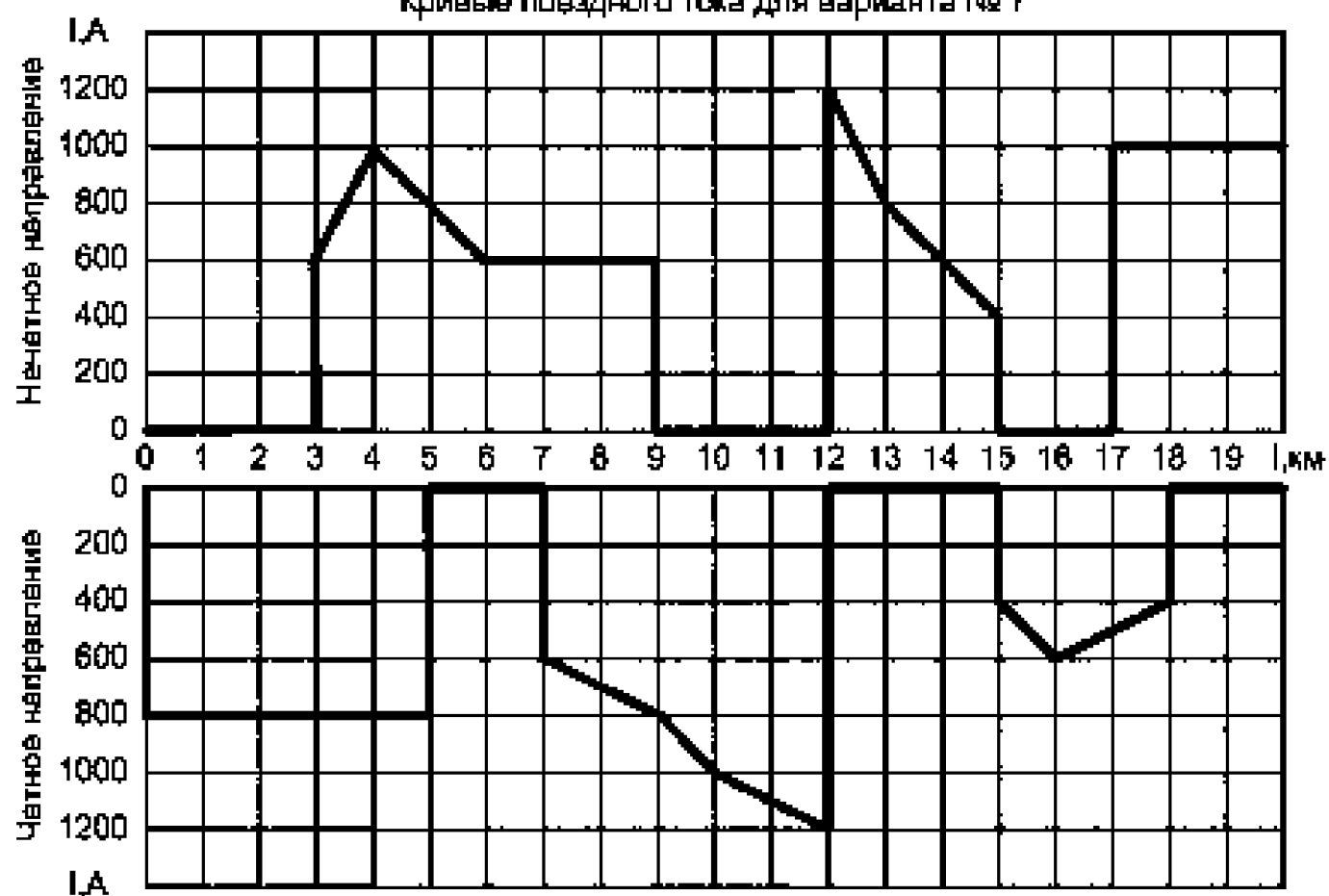
Кривые поездного тока для варианта № 5



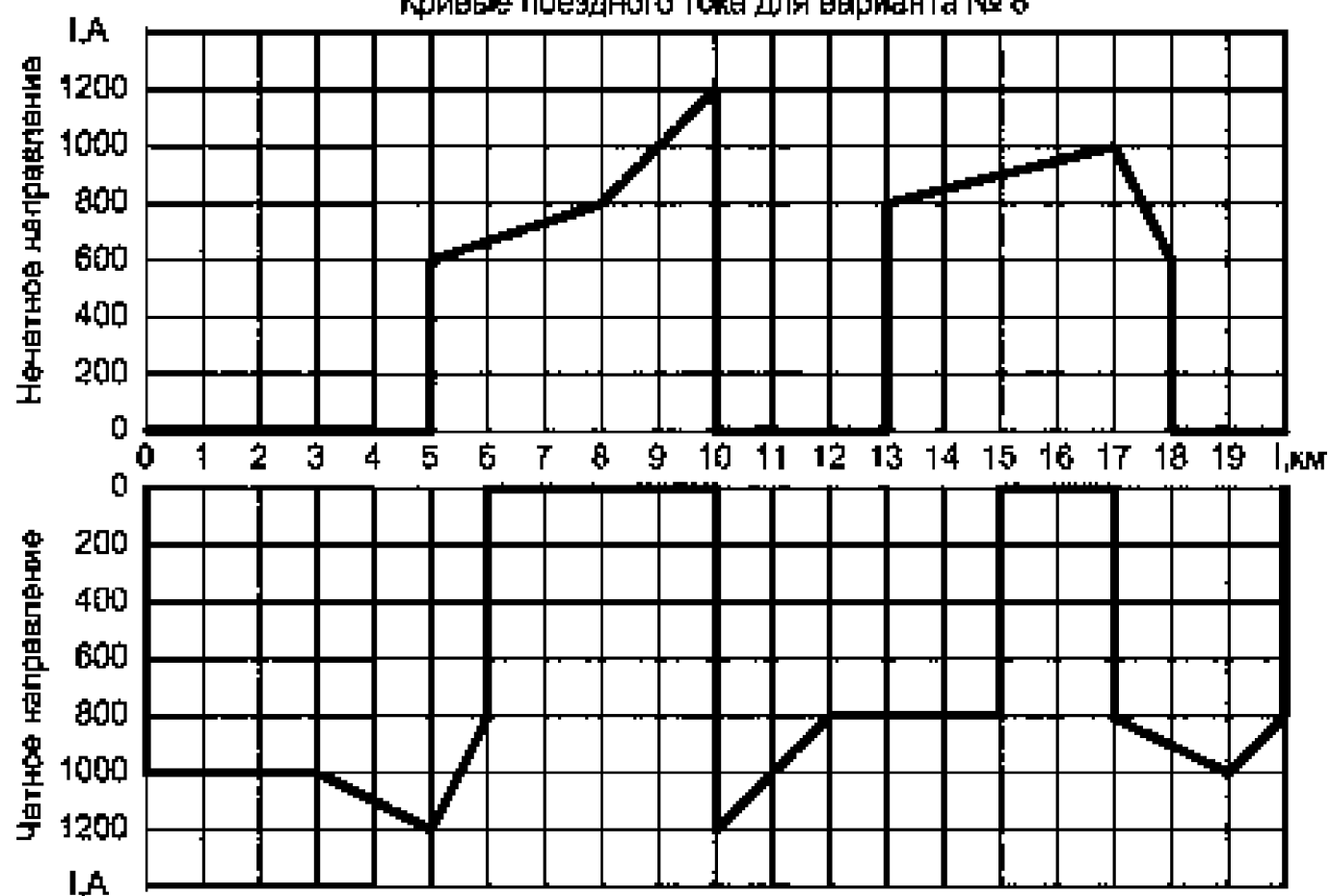
Кривые поездного тока для варианта № 6



Кривые поездного тока для варианта № 7



Кривые поездного тока для варианта № 8



Кривые поездного тока для варианта № 9

