

11/16/3

Одобрено кафедрой  
«Электрификация  
и электроснабжение»

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Задание на курсовой проект  
с методическими указаниями  
для студентов VI курса  
специальности

190401.65 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЭНС)

РОАТ

Москва – 2009

С о с т а в и т е л ь — канд. техн. наук, проф. Р.В. Шиловская

Р е ц е н з е н т — ст. преп. З.А. Фомина

## СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Целью курсового проекта является обучение студента использованию теоретического материала курса для проведения практических расчетов системы электроснабжения электрифицированных железных дорог.

Детальное проектирование всех элементов системы электроснабжения с применением достаточно точных методов расчета является задачей дипломного проекта. В курсовом проекте допускаются некоторые упрощения как по охвату вопросов, подлежащих рассмотрению, так и по исходным данным способам расчета. Исходные данные упрощены за счет перехода от разнотипных поездов (что имеет место в действительных условиях) к однотипным.

### ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Для участка магистральной дороги, электрифицируемой на однофазном токе промышленной частоты:

- 1) определить мощность одной тяговой подстанции\*, выбрать мощность и количество тяговых трансформаторов;
- 2) определить экономическое сечение проводов контактной сети одной фидерной зоны для раздельной работы путей и узловой схемы;
- 3) рассчитать годовые потери энергии в контактной сети для этих двух схем;
- 4) произвести проверку выбранного сечения проводов контактной сети по нагреванию;
- 5) провести технико-экономический расчет по сравнению указанных выше схем питания;
- 6) для схемы раздельного питания произвести расчет среднего уровня напряжения в контактной сети до расчетного поезда за время его хода на автоматической характеристике по условному «ограничивающему» перегону и блок-участку при полном использовании пропускной способности;

---

\* В качестве расчетной выбирается подстанция, расположенная ближе к середине участка.

7) рассчитать перегонную пропускную способность с учетом уровня напряжения.

### Исходные данные

1. Схема участка с упрощенными тяговыми расчетами.
2. Расположение тяговых подстанций.
3. Число путей.
4. Тип рельсов.
5. Размеры движения.
6. Минимальный межпоездной интервал  $T_{пер}$ .
7. Номинальное напряжение тяговых подстанций.
8. Продолжительность периода повышенной интенсивности движения поездов  $T_{вос}$ .
9. Трансформаторная мощность районных потребителей.
10. Мощность короткого замыкания на вводах подстанции.
11. Эквивалентная температура в весенне-летний период  $\theta_{охло}$  и температура в период повышенной интенсивности движения после окна  $\theta_{охлс}$ .
12. Длительность весенне-летнего периода.

Исходные данные для п. 1 студент выбирает по прил. 1 в соответствии с предпоследней цифрой своего шифра, для п. 2 (расположение подстанций) — по прил. 2 в соответствии с последней цифрой шифра и для п. 3–8 — по прил. 3 по последней цифре шифра.

Для п. 9 и 10 исходные данные берутся по прил. 3 (табл. 5) в соответствии с предпоследней цифрой шифра.

Данные по п. 11–12 берутся по табл. 6 прил. 3 в соответствии с цифрой, указывающей число сотен в шифре.

Студент, шифр которого состоит из одной или двух цифр, принимает в качестве десятков или (и) сотен 0.

### Оформление проекта

В результате выполнения проекта необходимо представить: пояснительную записку;

графики зависимости тока поезда и времени его хода от пути с разложенными на части кривыми тока;

схему расположения условного перегона и расчетного блок-участка применительно к заданному расположению подстанций.

Буквенные и графические обозначения должны соответствовать ГОСТам [6; 7].

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Курсовой проект рекомендуется выполнять параллельно с изучением теоретического курса. Начинать выполнение курсового проекта надо, как указано в задании, с расчета мощности подстанции. При этом учитывают, что в отдельные периоды времени число поездов может значительно превышать заданное для нормального графика. Это в одинаковой мере относится как к дорогам постоянного, так и однофазного тока.

При эксплуатации железных дорог будут встречаться периоды движения поездов с минимальными интервалами. Поэтому при проектировании такие периоды должны рассматриваться, но с учетом их ограниченной длительности, что позволит выбрать номинальную мощность тяговой подстанции меньше мощности нагрузки в период наиболее интенсивного движения.

Необходимо отметить, что задача выбора мощности трансформатора является по существу экономической задачей. Это видно из следующего.

В процессе работы трансформатор стареет и скорость его старения, точнее, старение изоляции его обмоток зависит от нагрузки. Если взять трансформатор малой мощности, он быстро выйдет из строя и придется его заменять. В результате выгода от применения более дешевого трансформатора будет поглощена перерасходом, связанной с необходимостью нового трансформатора. Невыгодно брать и трансформатор слишком большой мощности, так как срок его службы будет очень большим и в

ряде случаев превысит срок морального износа. При этом будут омертвлены средства, затраченные на излишнюю установленную мощность.

Правильно выбранный трансформатор должен служить определенное оптимальное время, принимаемое сейчас равным 25 годам.

Наиболее точно выбрать мощность трансформаторов для условий тяговой нагрузки в настоящее время можно при помощи моделирования на ЭВМ методом имитационного моделирования.

Так как при курсовом проектировании такой метод студенту, как правило, недоступен, ниже даются рекомендации по использованию приближенного аналитического метода расчета трансформаторной мощности.

Старение изоляции обычно оценивают по относительной скорости (интенсивности) старения. За единицу принимается интенсивность старения (износа) изоляции при температуре наиболее нагретой точки обмотки, равной номинальной.

Согласно ГОСТ [6] надо выбрать трансформаторы такой минимальной мощности, при которой средняя относительная интенсивность износа его изоляции не превышала единицы, а температура наиболее нагретой точки обмотки и верхних слоев масла не выходили за пределы допустимых.

Трудности выбора мощности трансформаторов для питания тяговой нагрузки определяются ее характерными особенностями [1; 3].

Подробно физические процессы нагрева и старения изоляции, а также обоснование методики выбора мощности трансформатора освещены в [4]. Поэтому ниже приводится лишь порядок выбора мощности трансформаторов тяговых подстанций переменного тока. Он несколько отличается от приведенного в [4] за счет дополнительных приближений и учета ГОСТа [6] на допустимые нагрузки. Там не менее студенту надо хорошо разобратъ по [3] или [4] обоснование принципиальных положений методики выбора мощности трансформаторов.

В курсовом проекте будем считать, что размеры движения и расход электрической энергии на тягу в осенне-зимний период

не выше, чем в весенне-летний. В этом случае за счет разности температур в эти периоды можно пренебречь износом изоляции трансформатора в осенне-зимний период.

Расчет мощности трансформаторов следует начинать с определения длительности повышенной интенсивности движения поездов после предоставления окна в графике движения для ремонта пути —  $T_{\text{вос}}$ . Эта длительность для двухпутного участка может быть найдена по формулам, приведенным в [3; 4; 5]. В проекте она задана, ее расчет производить не надо.

Так как при выборе трансформатора проверяется максимальная температура масла и обмотки, то должны быть в каждом случае определены расчетные режимы и соответствующие им нагрузки.

Расчет нагрузок подстанций следует начинать с определения средних и эффективных токов поездов при проходе поездом фидерных зон.

Нагрузки подстанции не зависят от того, есть или отсутствуют поперечные соединения между контактными сетями разных путей. Следовательно, расчет этих нагрузок можно вести в предположении раздельной работы путей независимо от действительной схемы их соединения.

Прежде всего, надо найти средние и эффективные токи поездов, отнесенные к фидерам рассматриваемой подстанции. При одностороннем питании ток поезда полностью потребляется от одного фидера. При двустороннем питании на расчетный фидер ложится только часть поездного тока. Поэтому для определения средних и эффективных фидерных токов от одного поезда в случае двустороннего питания надо, прежде всего, разложить заданную в тяговых расчетах кривую тока между фидерами соседних подстанций. Для этого может быть использован метод деления нагрузок, изложенный в [3, с. 190, 191].

По такой разложенной кривой поездного тока при двустороннем питании или непосредственно по кривой поездного тока при одностороннем питании можно найти среднее значение фидерного тока от одного поезда и квадрат его эффективного значения.

Для этого кривую поездного тока (разложенного или не разложенного) рекомендуется разбить на отрезки, в пределах которых ток изменяется не более чем на 40–60 А (рис. 1), после чего среднее значение поездного тока и среднее значение его квадрата (квадрат эффективного тока) могут быть найдены по формулам:

$$\bar{I} = \frac{1}{t} \sum I_{\text{ср}} t_i; \quad I_3^2 = \frac{1}{t} \sum I_{\text{ср}}^2 t_i,$$

где  $I_{\text{ср}}$  — среднее значение тока за рассматриваемый промежуток времени  $t_i$ ;

$t$  — время хода поезда по фидерной зоне.

В результате этих расчетов будут найдены значения средних поездных токов и значения квадратов эффективных токов для четного и нечетного путей, присоединенных к выводу «а» трансформатора расчетной подстанции —  $\bar{I}_1, \bar{I}_2, I_{13}^2, I_{23}^2$ , и присоединенных к выводу «в» —  $\bar{I}_3, \bar{I}_4, I_{33}^2, I_{43}^2$ . Они являются исходными для расчета нагрузок фидеров и подстанций.

При выполнении этих расчетов полезно одновременно найти средние значения неразложенных поездных токов для одной

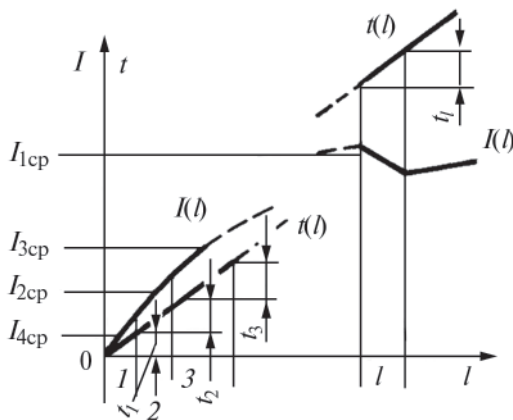


Рис. 1



фидерной зоны двустороннего питания, которые будут использованы в дальнейшем для расчета потерь энергии.

Зная средние и эффективные значения поездного тока, отнесенного к фидеру, можно найти средние и эффективные токи фидера от всех нагрузок. Для этого воспользуемся формулами [3], которые при односторонних поездах примут вид:

для средних токов

$$I_{\Phi} = \frac{n_{\Phi} N}{N_0} \bar{I}; \quad (1)$$

для эффективных:

— при одностороннем питании

$$I_{\Phi\text{э}}^2 = \frac{n_{\Phi} N}{N_0} I_{\text{э}}^2 + \frac{n_{\Phi}(n_{\Phi}-1)N^2}{N_0^2} (\bar{I})^2, \quad (2)$$

— при двустороннем питании

$$I_{\Phi\text{э}}^2 = \frac{4}{3} \frac{n_{\Phi} N}{N_0} I_{\text{э}}^2 + \left( n_{\Phi} - \frac{4}{3} \right) \frac{n_{\Phi} N^2}{N_0^2} (\bar{I})^2. \quad (2a)$$

Здесь  $n_{\Phi}$  — наибольшее число поездов в фидерной зоне, равное:

$$n_{\Phi} = t/T_{\text{пер}}, \quad (3)$$

где  $t$  — время хода поезда по фидерной зоне;

$T_{\text{пер}}$  — заданный минимальный интервал между поездами;

$N$  — число пар поездов в сутки;

$N_0$  — пропускная способность, максимальное число пар поездов в сутки.

В данном случае найденное значение  $n_{\Phi}$  не следует округлять.

По формулам (1) и (2) определяются средние токи всех фидеров расчетной подстанции:  $I_{\Phi 1}$ ,  $I_{\Phi 2}$ ,  $I_{\Phi 3}$ ,  $I_{\Phi 4}$  (рис. 2), а также квадраты эффективных токов:

$$I_{\Phi 1}^2, I_{\Phi 2}^2, I_{\Phi 3}^2, I_{\Phi 4}^2.$$

После определения средних нагрузок фидеров подстанции могут быть найдены линейные нагрузки (нагрузки плеч, см. рис. 2).

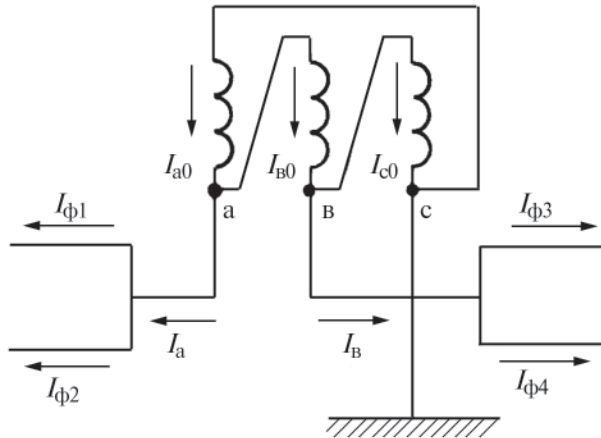


Рис. 2

Для двухпутного участка будем иметь средние токи плеч:

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_{\phi 1} + I_{\phi 2}, \\ I_b &= I_{\phi 3} + I_{\phi 4} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

и квадраты эффективных токов плеч:

$$\left. \begin{aligned} I_{aэ}^2 &= I_a^2 + (I_{\phi э1}^2 - I_{\phi 1}^2) + (I_{\phi э2}^2 - I_{\phi 2}^2), \\ I_{вэ}^2 &= I_b^2 + (I_{\phi э3}^2 - I_{\phi 3}^2) + (I_{\phi э4}^2 - I_{\phi 4}^2). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Из формул (1), (2) видно, что фидерные токи зависят от коэффициента использования пропускной способности  $\gamma = N/N_0$ . Его следует брать каждый раз соответствующим расчетному режиму.

Из-за большой постоянной времени нагревания масла было бы неправильно определять повышение температуры масла над температурой окружающей среды, исходя из максимально возможной нагрузки, так как она не может поддерживаться в

течение длительного времени. Но наибольшая разность температур обмотки и масла практически будет наибольшей при максимальной нагрузке, так как тепловая постоянная времени обмотки мала.

Нагрев масла в трехфазном трансформаторе обусловлен потерями в обмотках трех фаз, которые при несимметричной нагрузке будут неодинаковы. Для учета этого можно оперировать эквивалентным эффективным током фазы, который вызовет при симметричной нагрузке те же потери, что и действительные несимметричные нагрузки. Из сказанного ранее следует, что такой эквивалентный ток должен быть найден не только для условий нормального графика движения, но и для периода восстановления нормального движения после окна при  $\gamma = \gamma_{cr} = N_{cr}/N_0 = 0,9$ . Кроме того, для проверки температуры обмотки необходимо найти эффективный ток обмотки при максимальных размерах движения. Этот ток можно определить по формулам, приведенным в учебнике [1] при приравнении размеров движения  $N$  пропускной способности  $N_0$ . За расчетный берется ток той обмотки, для которой он имеет наибольшее значение.

Ниже приводится формула для расчета тока обмоток «а» и «с» в предположении, что углы сдвига фаз средних нагрузок на обоих плечах равны:

$$\left. \begin{aligned} I_{аэо}^2 &= \frac{1}{9}(4I_{аэ}^2 + I_{вэ}^2 + 2I_a I_b), \\ I_{сэо}^2 &= \frac{1}{9}(4I_{вэ}^2 + I_{ав}^2 + 2I_a I_b). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Для определения максимального эффективного тока обмотки  $I_{э\max}$  значения величин  $I_{аэ}$ ,  $I_{вэ}$ ,  $I_a$  и  $I_b$  должны быть рассчитаны, как указывалось, при  $N = N_0$ . За ток  $I_{\max}$  принимается больший из токов  $I_{аэ}$  или  $I_{сэ}$ .

Эквивалентные по нагреву масла токи обмотки при том же предположении можно рассчитать по формуле [3, с. 410]:

$$I_{эк}^2 = \frac{1}{9}[2(I_{аэ}^2 + I_{вэ}^2) + I_a I_b]. \quad (7)$$

По этой же формуле находят эквивалентный по нагреву масла ток обмотки при заданных размерах движения  $I_{оэ}$ , подставляя в нее  $I_{аэ}$ ,  $I_{вэ}$ ,  $I_a$ ,  $I_b$ , рассчитанные для этих размеров движения, и ток  $I_{эсг}$  в период восстановления нормального графика после окна. В этом случае  $I_{аэ}$ ,  $I_{вэ}$ ,  $I_a$ ,  $I_b$  определяются для  $0,9 N_0$  размеров движения.

После расчета  $I_{э\max}$ ,  $I_{эо}$  и  $I_{эсг}$  следует определить трансформаторную мощность для питания только районной нагрузки  $S_{\text{п расч}}$ . Для условий курсового проекта она задана (табл. 5, прил. 3).

Для дальнейших расчетов следует выбрать по каталогу мощность трансформаторов  $S_{\text{н}}$ , в качестве базовой. Можно принять ее равной 50 МВ·А (два трансформатора по 25 МВ·А). Тогда мощность трансформаторов, которую допустимо использовать для тяги  $S_{\text{нт}}$ , можно будет найти из

$$S_{\text{нт}} = \frac{S_{\text{н}}}{K_y} - S_{\text{п расч}}, \quad (8)$$

где  $K_y = 0,97$  — коэффициент участия районной нагрузки в максимуме.

Если по формуле (8) получается  $S_{\text{нт}} < S_{\text{н}}$ , то для дальнейших расчетов надо принять  $S_{\text{нт}} = S_{\text{н}}$ . Далее по мощности  $S_{\text{нт}}$  можно найти соответствующий ей номинальный ток для двух трансформаторов

$$I_{2\text{нт}} = \frac{S_{\text{нт}}}{3U_{\text{ш}}} \quad (9)$$

и отношения:

$$\left. \begin{aligned} K_0 &= \frac{I_{оэ}}{I_{2\text{нт}}}; \\ K_{\text{сг}} &= \frac{I_{эсг}}{I_{2\text{нт}}}; \\ K_{\text{max}} &= \frac{I_{э\max}}{I_{2\text{нт}}}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Выше уже говорилось, что мощность трансформаторов надо выбирать по средней интенсивности относительного износа витковой изоляции и проверять по максимальным температурам наиболее нагретой точки обмотки и верхних слоев масла.

Согласно ГОСТ [6] относительный износ следует определять по формуле

$$F = 2^{\frac{\theta_{\text{инт}} - \theta_{\text{интб}}}{6}},$$

где  $\theta_{\text{инт}}$  — температура наиболее нагретой точки обмотки в °С;  
 $\theta_{\text{интб}}$  — базовая температура наиболее нагретой точки обмотки, при которой скорость расчетного износа витковой изоляции соответствует сроку службы трансформатора, условно принятому за единицу,  $\theta_{\text{интб}} = 98^\circ\text{С}$ .

Из этой формулы вытекает так называемое шестиградусное правило, которое заключается в том, что каждое изменение температуры обмотки на  $6^\circ\text{С}$  ведет к изменению в два раза срока службы трансформатора (уменьшению при увеличении температуры и увеличению при ее уменьшении).

Практически тот же результат при  $\alpha = 0,115 \text{ 1/}^\circ\text{С}$  дает формула

$$F = e^{\alpha(\theta_{\text{инт}} - \theta_{\text{интб}})}.$$

Эта формула приведена в учебной литературе. Учитывая это, а также то, что при пользовании микрокалькулятором или таблицами проще определять степени  $e$ , чем  $2^x$ , в дальнейшем используется вторая из приведенных формул.

После определения отношений (10) следует найти среднюю интенсивность износа изоляции обмотки трансформатора в сутки предоставления окна:

$$\bar{F}_1 = \frac{A_{\text{сг}} L_{\text{обмакс}} L_{\text{мер}} T_{\text{вос}}}{24}, \quad (11)$$

где

$$A_{\text{ср}} = e^{-\alpha(\Theta_{\text{интб}} - \Theta_{\text{охлс}})}. \quad (12)$$

Здесь  $\theta_{\text{охлс}}$  — температура окружающей среды в период восстановления нормального движения, задается в зависимости от района,

$$L_{\text{обмакс}} = \gamma_{\text{ср}} e^{\alpha(aK_{\text{макс}}^2 + b)}; \quad (13)$$

$$L_{\text{МСГ}} = e^{\alpha\{g[(1-\eta)K_{\text{ср}}^2 + K_0^2] + h\}}. \quad (14)$$

В последнем выражении

$$\eta = e^{-\frac{T_{\text{вос}} - t_0}{\tau}}. \quad (15)$$

В формулах (13), (14) и (15):

- $a, b, g, h$  — постоянные в выражениях, аппроксимирующие зависимости разности температур обмотка — масло и масло — окружающая среда (они равны:  $a = 17,7; b = 5,3; g = 39,7; h = 15,3^\circ\text{C}$ );
- $t_0$  — при переменном токе — среднее время хода поезда основного типа по фидерной зоне;
- $t$  — тепловая постоянная времени масла; ее можно принять равной 3 ч.

Если  $F_1 > 1$ , то по полученной интенсивности износа  $F_1$  производится пересчет номинального тока. Находится такой расчетный номинальный ток, при котором относительная интенсивность износа будет нормальной, по формуле

$$I_{0\text{ном}} = I_{2\text{нт}} \sqrt{\frac{\ln \bar{F}_1 + \ln \frac{365}{n_{\text{ср}} \gamma} + 8,9 - 0,115\Theta_{\text{охлс}}}{\ln \frac{365}{n_{\text{ср}} \gamma} + 8,9 - 0,115\Theta_{\text{охлс}}}}, \quad (16)$$

где  $n_{\text{ср}}$  — число суток с предоставлением окон за год, в курсовом проекте можно принять равным  $2/3$  числа суток в весенне-летний период.

Как показали специально выполненные исследования, выбор мощности трансформатора по току  $I_{0 \text{ ном}}$  (в предложении, что износ изоляции обмотки происходит только в период восстановления нормального движения после окна) может привести к ее занижению не более чем на 8%.

Поэтому необходимая расчетная мощность может находиться в пределах  $S_{\text{min}}$  и  $S_{\text{max}}$ , равных

$$\left. \begin{aligned} S_{\text{min}} &= K_y (3I_{0 \text{ ном}} U_{\text{ш}} + S_{\text{расч}}); \\ S_{\text{max}} &= K_y (3 \cdot 1,08 I_{0 \text{ ном}} U_{\text{ш}} + S_{\text{расч}}). \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

В случае, когда по этим формулам получается, что

$$S_{\text{min}} < 3I_{0 \text{ ном}} U_{\text{ш}} \quad \text{или} \quad S_{\text{max}} < 3 \cdot 1,08 I_{0 \text{ ном}} U_{\text{ш}},$$

то надо принять  $S_{\text{min}} = 3I_{0 \text{ ном}} U_{\text{ш}}$ ;

$$S_{\text{max}} = 3 \cdot 1,08 I_{0 \text{ ном}} U_{\text{ш}}.$$

Если по стандартной шкале мощность трансформаторов, выбранная по  $S_{\text{min}}$  и  $S_{\text{max}}$ , будет одна и та же, то на этом выбор трансформатора по износу заканчивается.

В тех редких случаях, когда стандартная мощность трансформаторов, выбранная по  $S_{\text{min}}$  и  $S_{\text{max}}$ , будет различной, надо привести уточненный расчет.

Для этого надо определить коэффициент  $L_{\text{мо}}$ , учитывающий износ изоляции обмотки за счет нагрева масла в период нормального графика

$$L_{\text{мо}} = e^{\alpha(gK_o^2 + h)}. \quad (18)$$

Затем найти более точное значение среднегодового износа

$$\bar{F} = \frac{L_{\text{обмак}}}{365} \left\{ \left[ n_{\text{вл}} - n_{\text{ср}} \left( 1 - \frac{T_{\text{н}}}{24} \right) \right] A_0 L_{\text{мо}} \gamma + n_{\text{ср}} A_{\text{ср}} \frac{T_{\text{вос}} - t_0}{24} \gamma_{\text{ср}} L_{\text{мср}} \right\}, \quad (19)$$

где  $n_{\text{вл}}$  — число суток в весенне-летний период;

$n_{\text{ср}}$  — число суток с предоставлением окон;

$$T_H \approx 21 - T_{\text{вос}} - t_0;$$

$$A_0 = e^{-\alpha(\Theta_{\text{интс}} - \Theta_{\text{окло}})},$$

где  $\Theta_{\text{окло}}$  — эквивалентная температура в весенне-летний период, выбирается в соответствии с ГОСТ [6].

По новому значению  $F$  по формуле (16) вновь производится пересчет номинального тока и находится новое значение  $I_{0 \text{ ном}}$ .

Выбирается по каталогу мощность ближайшая — большая, чем

$$S_{\text{расч}} = K_y(3I_{0 \text{ ном}} U_{\text{ш}} + S_{\text{р расч}})$$

или

$$S_{\text{расч}} = 3I_{0 \text{ ном}} U_{\text{ш}}. \quad (20)$$

Это уточнение справедливо в тех случаях, когда расход энергии на тягу в сутки осенне-зимнего периода не превышает расхода энергии в сутки весенне-летнего периода. В противном случае расчет ведется несколько другим, путем, который здесь не рассматривается.

Выбранные по износу изоляции трансформаторы должны быть проверены по максимально допустимому току и максимально допустимым температурам обмотки и масла.

Обозначим выбранную по каталогу исходя из интенсивности износа изоляции мощность трансформаторов через  $S_{\text{ном}}$ . Тогда ток, соответствующий располагаемой мощности для тяги, найдем из

$$I_{2\text{нт}} = \frac{1}{3U_{\text{ш}}} \left( \frac{S_{\text{ном}}}{K_y} - S_{\text{р расч}} \right). \quad (21)$$

Если по формуле (21) получится  $I_{2\text{нт}} > \frac{S_{\text{ном}}}{3U_{\text{ш}}}$ , то  $I_{2\text{нт}}$  надо приравнять  $\frac{S_{\text{ном}}}{3U_{\text{ш}}}$ .



Кратность нагрузки при выбранной мощности трансформатора  $K_2$  определяется для суток с предоставлением окна.

Расчет для таких суток базируется на замене реального графика эквивалентным двухступенчатым (см. [3], рис. 8.10) и применении обязательного приложения к ГОСТ [6].

Нетрудно показать, что для условий проекта

$$\frac{K_{\text{ср}}}{K_{\text{max}}} > 0,9.$$

При таком соотношении согласно упомянутому приложению следует принимать

$$K_2 = K_{\text{сго}}. \quad (22)$$

Максимальная температура масла может быть определена по формуле

$$\Theta_{\text{мсг}} = \Theta_{\text{охлс}} + \frac{g}{I_{2\text{нт}}^2} \left[ I_{\text{оэ}}^2 \eta + (1 - \eta) I_{\text{ср}}^2 \right] + h, \quad (23)$$

а обмотки по

$$\Theta_{\text{интс}} = \Theta_{\text{мсг}} + a \frac{I_{\text{эmax}}^2}{I_{2\text{нт}}^2} + b. \quad (24)$$

Если окажется, что  $\theta_{\text{мсг}} > 95^\circ\text{C}$  или  $\theta_{\text{интс}} > 140^\circ\text{C}$ , то надо принять следующий по мощности трансформатор.

Значения входящих в формулы (23) и (24) токов  $I_{\text{оэ}}$ ,  $I_{\text{эmax}}$ , так же как и коэффициента  $\eta$ , были найдены ранее.

На тяговых подстанциях переменного тока обычно устанавливают два трансформатора одинаковой мощности. Учитывая это и зная общую трансформаторную мощность, можно выбрать номинальную мощность одного трансформатора  $S_{\text{ном}}$ . При этом можно ориентироваться на следующие номинальные мощности трансформаторов: 16; 25; 40 и 63 МВ·А.

В нормальных условиях заданные размеры движения должны быть обеспечены при работе одного трансформатора. Это возможно, если:

$$\Theta_{\text{мо}} = \Theta_{\text{охлс}} + \frac{gI_{\text{э0}}^2}{I_{\text{лнт}}^2} + h \leq 95^\circ\text{C}; \quad (25)$$

$$\Theta_{\text{интo}} = \Theta_{\text{мо}} + a \frac{I_{\text{эmax}}^2}{I_{\text{лнт}}^2} + b \leq 140^\circ\text{C}, \quad (26)$$

где  $I_{\text{лнт}}$  — ток, соответствующий мощности, которая может быть использована для тяги при работе одного трансформатора. Он определяется по формуле (8) с учетом следующих за ней пояснений при работе одного трансформатора.

Выбор сечения проводов контактной сети следует произвести для одной фидерной зоны двустороннего питания. Для определения экономического сечения проводов контактной сети можно использовать метод, изложенный в [3].

В этом случае общее сечение проводов контактной сети в медном эквиваленте будет равно:

$$F_{\text{м}} = 0,46\sqrt{K_{\text{э}}B_0}, \quad (27)$$

где  $K_{\text{э}}$  — стоимость электрической энергии, руб./кВт·ч;  
 $B_0$  — годовые удельные потери в проводах контактной сети рассматриваемой фидерной зоны, кВт·ч/Ом·год.

Для условий курсового проекта примем  $K_{\text{э}} = 0,64$  руб./кВт·ч (прил. 4).

Тогда экономическое сечение можно определить по формуле

$$F_{\text{м}} = 0,46\sqrt{B_0}. \quad (28)$$

Для определения  $B_0$  следует воспользоваться формулами для расчета энергии потерь в проводах контактной сети.

При раздельной работе путей  $B_0$  и  $F_{\text{м}}$  определяются для каждого пути отдельно.

Энергию потерь за время  $T$  в этом случае для каждого пути можно найти без учета влияния соседнего пути по формуле [3]

$$\Delta W_{\tau} = \frac{184 r_{\text{п}} W_{\tau}^2 20^{-6}}{T U_{\text{нк}}^2} \left[ \frac{T}{\sum t_{\tau}} + 0,46 \left( 1 - \frac{T_{\text{пер}} N_{\text{п}}}{\sum t} \right) \right], \quad (29)$$

где  $N_{\text{п}} = N/k_{\text{нд}}$  — средние размеры движения поездов;

$r_{\text{п}}$  — активное сопротивление одного километра контактной сети одного пути, Ом/км;

$l$  — длина фидерной зоны, км;

$U_{\text{нк}}$  — напряжение контактной сети, кВ ( $U_{\text{нк}} = 25$  кВ);

$W_{\tau}$  — расход энергии на движение поездов по фидерной зоне за период  $T$ ;

$\sum t_{\tau}$  — суммарное время потребления энергии всеми  $N_{\text{п}}$  поездами, проходящими за период  $T$  фидерную зону;

$\sum t$  — суммарное время занятия всеми расчетными поездами фидерной зоны за период  $T$ . Остальные обозначения те же, что и ранее.

Годовые потери составят

$$\Delta W_{\text{г}} = 365 \Delta W_{\tau} \text{ (при } T = 24 \text{ ч),}$$

а удельные потери

$$B_0 = \frac{\Delta W_{\text{г}}}{r_{\text{п}} l} = \frac{365 \Delta W_{\tau}}{r_{\text{п}} l}.$$

Подставляя  $\Delta W_{\tau}$  из (29) при однотипных поездах, получим

$$B_0 = \frac{6,7 \cdot 10^{-2} W_{\tau}^2}{T U_{\text{нк}}^2} \left[ \frac{T}{N_{\text{п}} t_{\tau}} + 0,46 \left( 1 - \frac{T_{\text{пер}}}{t} \right) \right]. \quad (30)$$

Принимая в этой формуле  $W_{\tau}$ ,  $t$ ,  $t_{\tau}$  для первого пути ( $W_{\tau 1}$ ,  $t_1$ ,  $t_{\tau 1}$ ), найдем  $B_{01}$  — удельные потери для этого пути. Таким же образом, но по расходу энергии на движение поездов по фидерной зоне второго пути определим удельные потери на втором пути  $B_{02}$ .

После этого по формуле (28) нетрудно найти экономические сечения проводов и выбрать несущий трос.

При узловой схеме (рис. 3) энергию потерь на сутки можно найти по формуле

$$\Delta W_{\tau} = \Delta W_{1AC} + \Delta W_{2AC} + \Delta W_{1BC} + \Delta W_{2BC} + \Delta W_C. \quad (31)$$

Здесь  $\Delta W_{1AC}$  и  $\Delta W_{2AC}$  — энергия потерь на первом и втором путях участка AC (см. рис. 3) в том случае, если в точке С есть подстанция;

$\Delta W_{1BC}$  и  $\Delta W_{2BC}$  — то же, но для участка BC;

$\Delta W_C$  — дополнительные расчетные потери за счет отсутствия подстанции в точке С.

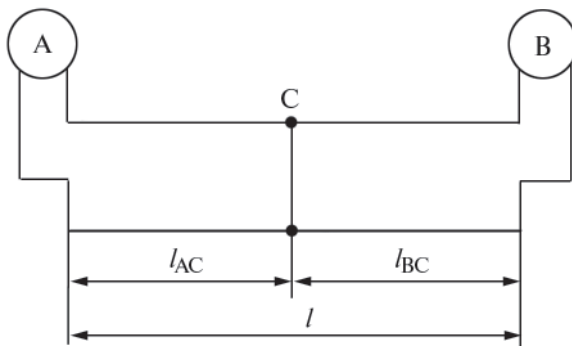


Рис. 3

Значения первых четырех величин могут быть определены по формуле (29), если подставить в нее расход энергии и длину, соответствующие рассматриваемым участкам.

В курсовом проекте можно выполнить приближенный расчет, считая, что общий расход энергии в рассматриваемой зоне распределяется поровну между четырьмя рассматриваемыми участками, т.е. принять

$$W_{1AC} = W_{2AC} = W_{1BC} = W_{2BC} = \frac{W_{\tau}}{4}.$$

Здесь  $W_{\tau} = W_{\tau 1} + W_{\tau 2}$  — общий расход энергии на движение поездов по обоим путям рассматриваемой фидерной зоны за расчетный период.

Полагая, что

$$l_{AC} = l_{BC} = \frac{l}{2},$$

можно по формуле (29) получить следующее выражение для суммы первых четырех членов формулы (31)

$$\begin{aligned} \Delta W'_T &= \Delta W_{1AC} + \Delta W_{2AC} + \Delta W_{1BC} + \Delta W_{2BC} = \\ &= 4 \frac{184 \cdot 2r_0 \frac{l}{2} \left( \frac{W_T}{4} \right)^2 10^{-6}}{TU_{HK}^2} \left[ \frac{T}{\frac{1}{4} \sum t_T} + 0,46 \left( 1 - \frac{T_{пер} N_p}{\frac{1}{4} \sum t} \right) \right]. \end{aligned}$$

Здесь под  $\sum t_T$  и  $\sum t$  подразумевается суммарное время хода всех поездов на первом и втором путях всей фидерной зоны под током и общее соответственно;

$r_0$  — активное сопротивление всех проводов контактной сети первого и второго путей, соединенных параллельно.

Кроме того, принято, что время поровну распределяется между рассматриваемыми участками.

Из последнего выражения находим

$$\Delta W'_T = \frac{184r_0 W_T^2 l 10^{-6}}{TU_{HK}^2} \left[ \frac{T}{N_p (t_{T1} + t_{T2})} + 0,46 \left( 0,25 - \frac{T_{пер}}{t_1 + t_2} \right) \right], \quad (32)$$

где  $t_{T1}$  и  $t_{T2}$  — время потребления энергии при проходе фидерной зоны соответственно поездам нечетного и четного направлений;

$t_1$  и  $t_2$  — общее время хода по фидерной зоне поездов нечетного и четного направлений.

Величина  $\Delta W_C$ , входящая в выражение (31), может быть найдена по формуле (7.137) из [3].

В соответствии с принятыми ранее приближениями и условиями задания в этой формуле можно положить:

$$l_c = (l - l_c) = \frac{1}{2}; \quad W_c = \frac{W}{2}; \quad W_1 = W_{II} = \frac{W_T}{2};$$

$$\alpha_1 = \alpha_{II} = \frac{t_1 + t_2}{t_{T1} + t_{T2}}; \quad N_1 = N_2 = N_p \quad \text{и} \quad N_{01} = N_{0II} = N_0.$$

Тогда эта формула примет вид

$$\Delta W_c = \frac{62,5 \cdot 10^{-6} r_0 I W_T^2}{TU_{HK}^2} \left[ 1 + \frac{2}{3n} \left( 1,08 \frac{t_1 + t_2}{t_{T1} + t_{T2}} \frac{N_0}{N_p} - 1 \right) \right]. \quad (33)$$

Суммируя потери, полученные по формулам (32) и (33), получим выражение для энергии потерь в проводах контактной сети при узловой схеме

$$\Delta W_T = \frac{62,5 \cdot 10^{-6} r_0 I W_T^2}{TU_{HK}^2} \times \left\{ 2,95 \left[ \frac{T}{N_p(t_{T1} + t_{T2})} + 0,46 \left( 0,25 - \frac{T_{неп}}{t_1 + t_2} \right) \right] + 1 + \frac{2}{3n} \left( 1,08 \frac{t_1 + t_2}{t_{T1} + t_{T2}} \frac{N_0}{N_p} - 1 \right) \right\}. \quad (34)$$

откуда получим выражение для  $B_0$  при узловой схеме

$$B_0 = 2,28 \cdot 10^{-2} \frac{W_T^2}{TU_{HK}^2} \times \left\{ 2,95 \left[ \frac{T}{N_p(t_{T1} + t_{T2})} + 0,46 \left( 0,25 - \frac{T_{неп}}{t_1 + t_2} \right) \right] + 1 + \frac{4T_{неп}}{3(t_1 + t_2)} \left( 1,08 \frac{t_1 + t_2}{t_{T1} + t_{T2}} \frac{N_0}{N_p} - 1 \right) \right\}. \quad (35)$$

Далее по формуле (28) найдем суммарное сечение проводов контактной сети на два пути. На один путь сечение будет в два раза меньше.

В формулы (30) и (35) входят члены  $1 - \frac{T_{неп}}{t}$  и  $0,25 - \frac{T_{неп}}{t_1 + t_2}$  соответственно. Они должны учитываться только при положительном их значении. Если они при расчете получатся отрицательными, то их надо отбросить (приравнять к нулю).

В соответствии с изложенным ранее все величины, входящие в формулы, должны быть отнесены к расчетному периоду  $T = 24$  ч.

Суточный расход энергии  $W_T$ , являющийся одной из исходных величин расчета, легко определяется по подсчитанным ранее средним токам поездов, времени их хода по фидерным зонам, напряжению, которое принято для тяговых расчетов 25 кВ, и заданному количеству поездов за сутки. Расчетными размерами движения при определении экономического сечения и энергии потерь будут средние за год суточные размеры движения. Так как в прил. 3 указаны размеры движения в сутки наибольшей интенсивности движения, то при определении  $B_0$  надо разделить их на коэффициент неравномерности  $k_{нд}$  (см. прим. к табл. 4 прил. 3).

Таким образом,

$$W_T = IU_{нк} tN_p, \quad (36)$$

где  $I, A$ ;

$U_{нк}$ , кВ;

$t$ , Ч;

$N_p = N/k_{нд}$  — расчетное число поездов.

После выбора сечения проводов контактной сети можно найти для нее абсолютное значение энергии потерь. Это легко сделать, используя ранее определенную величину  $B_0$ ,

$$\Delta W_{год} = 1 r B_0. \quad (37)$$

Активное сопротивление в контактной сети дается в табл. 1 [3, 5].

Энергию потерь в рельсах можно не находить, так как она одинакова для обеих схем и, следовательно, не отразится на результатах их экономического сравнения.

После выбора экономического сечения необходимо проверить его по нагреванию (п. 4 задания).

Студент должен выбрать и обосновать метод этой проверки. В частности, может быть использован (при обосновании) способ проверки контактной подвески по эффективному току, ко-

Таблица 1

## Активные сопротивления контактной подвески

Типы подвески		ПБСМ70+ +МФ100	ПБСМ95+ +МФ100	М95+ +МФ100	М120+ +МФ100
$r$ , Ом/км	Без усил. провода	0,166	0,151	0,092	0,082
	С усил. прово- дом А185	0,089	0,083	0,059	0,055

торый надо сравнить с допустимым для выбранной подвески. В этом случае можно использовать ранее найденные по формуле (2а) значения токов фидеров, заменив заданное число поездов  $N$  на число поездов при полном использовании пропускной способности  $N_0$ . Если экономическое сечение проводов контактной сети, оказалось, по нагреву недостаточным, то сечение надо увеличить.

Экономическое сравнение двух разобранных схем питания (п. 5 задания) производится обычным методом сравнения вариантов. При этом должны быть учтены единовременные затраты на контактную сеть и пост секционирования (при узловой схеме), ежегодные расходы на энергию потерь в контактной сети и амортизационные отчисления.

Как известно, если при таких расчетах оказывается, что увеличение единовременных затрат ведет к снижению годовых расходов, то выбор наиболее выгодного варианта производится на основании сравнения приведенных затрат. При этом коэффициент экономической эффективности капиталовложений следует принять равным  $E_n = 0,12$ .

Данные, необходимые для определения расходов, приведены в прил. 4. Методика экономического расчета изложена в [3, 8.1].

Для выполнения п. 6 задания необходимо, прежде всего, произвести расчет средней потери напряжения до поезда (только для одной схемы отдельного питания).

Скорость поезда зависит от выпрямленного напряжения, которое пропорционально среднему за полупериод напряжению



переменного тока. Поэтому нас в первую очередь будут интересовать именно эти значения напряжений и потерь напряжения.

В связи с этим расчет потери напряжения необходимо вести по приведенной величине сопротивления тяговой сети и выпрямленным токам, приведенным к напряжению контактной сети.

Второй особенностью расчета потери напряжения до поезда на двухпутных линиях однофазного тока при раздельном питании путей является индуктивная связь их контактных подвесок. Это обстоятельство, так же как и относительно большее значение сопротивления рельсового пути, приводит к существенному влиянию нагрузок соседнего пути на потерю напряжения до рассматриваемого поезда даже при раздельном питании путей.

С учетом этого определение потери напряжения до расчетного поезда следует производить по эквивалентным сопротивлениям отдельно в контактной сети, от нагрузок рассматриваемого пути и в рельсах от нагрузок на обоих путях. Общую потерю напряжения можно представить в виде суммы двух слагаемых:

$$\Delta U = \Delta U_{\text{к}} + \Delta U_{\text{р}}, \quad (38)$$

где  $\Delta U_{\text{к}}$  — потеря напряжения до расчетного поезда в контактной сети;

$\Delta U_{\text{р}}$  — то же, в рельсах.

Расчет обеих величин практически не отличается от расчета аналогичных величин при постоянном токе. Разница заключается только в замене сопротивления одного км контактной сети и рельсов постоянному току соответствующими приведенным сопротивлениями [3, 5]. С учетом этого  $\Delta U_{\text{к}}$  и  $\Delta U_{\text{р}}$  могут быть определены по формулам (7.154) и (7.158) [3] соответственно. В первом случае в формуле (7.154) надо заменить  $r$  на приведенное сопротивление контактной сети рассматриваемого пути  $Z_{\text{к-}}$  и учитывать нагрузки только этого пути. Для расчета  $\Delta U_{\text{р}}$  надо заменить в формуле (7.158)  $r$  на приведенное сопротивление рельсов двухпутного участка  $Z_{\text{р-}}$  и принимать во внимание нагрузки обоих путей.

Приведенные сопротивления контактной сети в Ом/км даны в табл. 2. Они рассчитаны по формулам (2.103) [3] на основе данных табл. 2.10 — 2.13 [3]. Приведенное сопротивление рельсов  $Z_{р-} = 0,156$  Ом/км.

Таблица 2

**Приведенные сопротивления контактной сети**

Тип подвески	ПБСМ70+ +МФ100	ПБСМ95+ +МФ100	М95+ +МФ100	М120+ +МФ100
Без усил. провода	0,321	0,298	0,237	0,229
С усил. проводом А185	0,176	0,167	0,140	0,136

Для корректировки пропускной способности следует усреднять  $\Delta U$  за время  $T_{пер}$ . При этом необходимо помнить, что среднее значение относится ко времени хода по автоматической характеристике. Следовательно, периоды пуска, выбега и торможения  $t_{кгд}$  [3] не входят.

В первую очередь надо наметить расположение лимитирующего перегона и блок-участка. Лимитирующий перегон располагается примерно в середине фидерной зоны. Время хода поезда по нему должно быть равно  $T_{пер}$ , что следует из самого определения условного перегона. Если в середине зоны ток мал, то лимитируемый перегон надо сдвинуть в сторону больших токов. В пределах лимитирующего перегона надо выделить блок-участок, равный примерно 1/3 длины лимитирующего перегона (длина блок-участка равна 1/3 лимитирующего перегона при постоянной скорости хода поезда по нему). Расположение лимитирующего перегона и блок-участка надо показать на специальной схеме по типу рис. 7.26 в [3].

Допустимо указать расположение лимитирующего перегона непосредственно на графике зависимости тока поезда от пути, т.е. совместить графическую часть, предусмотренную п. б) и в) указаний по оформлению проекта.

В курсовом проекте используются приближенные формулы, при выводе которых сделано допущение, что токи поездов во время движения остаются неизменными и равными средним.

При таком допущении средние потери напряжения за время хода по условному перегону и блок-участку получатся одинаковыми. Поэтому достаточно определить значение одной из величин.

Если фидерная зона присоединена к выводу «а» трансформатора, то потеря действующего напряжения первой гармоники на тяговой подстанции (при равных сопротивлениях подстанций) может быть определена по формуле

$$\Delta U_{\text{плд}} = k_{\text{эф}} X_{\text{вт}} [(2I_{\text{а}} + 0,5I_{\text{в}}) \sin\varphi \pm 0,5\sqrt{3} I_{\text{в}} \cos\varphi]. \quad (39)$$

Здесь  $k_{\text{эф}} = 0,97$  — условный коэффициент эффективности, вводимый для перехода от выпрямленных токов (которые даны в диаграммах прил. 1) к действующим;

$X_{\text{вт}}$  — сопротивление подстанции и внешней сети, равное:

$$X_{\text{вт}} = \frac{u_{\text{к}} U_{\text{ш}}^2}{S_{\text{н}}} 10 + \frac{U_{\text{ш}}^2}{S_{\text{кз}}} 10^3, \quad (40)$$

где  $S_{\text{н}}$  — номинальная мощность подстанции, кВ·А;  
 $u_{\text{к}} = 10,5\%$  — напряжение короткого замыкания трансформатора;  
 $S_{\text{кз}}$  — мощность короткого замыкания на вводах тяговой подстанции, кВ·А (см. табл. 5 прил. 3);  
 $\varphi$  — угол сдвига первой гармоники тока относительно напряжения, можно принять  $37^\circ$ .

Если фидерная зона присоединена к выводу трансформатора «в», то в формуле (39) надо поменять местами токи  $I_{\text{а}}$  и  $I_{\text{в}}$ .

Верхний знак + в этой формуле принимается, если рассматриваемая зона присоединена к плечу с напряжением, отстающим по фазе от напряжения смежного плеча, а нижний — в противном случае.

Потерю напряжения до поезда, расположенного на расстоянии  $l_{\text{м}}$  от первой подстанции, вызванную потерей напряжения на тяговых подстанциях, питающих рассматриваемую фидерную зону (см. рис. 4), можно найти по формуле

$$\Delta U_{nm} = 0,9 \left( \frac{l-l_m}{l} \Delta U_{n1d} + \frac{l_m}{l} \Delta U_{n2ld} \right), \quad (41)$$

где  $\Delta U_{n1d}$  — потеря напряжения на подстанции 1;

$\Delta U_{n2ld}$  — то же на подстанции 2;

0,9 — коэффициент перехода от действующего к среднему значению.

Для нагрузок плеч можно принять их средние значения, а в качестве  $l_m$  взять расстояние до середины расчетного перегона за время хода, по которому определяется средний уровень напряжения. Тогда по формулам (39) и (41) можно будет непосредственно найти среднее значение потери напряжения до расчетного поезда, вызванного потерями напряжения на подстанциях.

В курсовом проекте для упрощения расчетов примем максимальные значения нагрузок плеч всех подстанций одинаковыми и равными полусумме нагрузок плеч расчетной подстанции при полном использовании пропускной способности:

$$I_{a1} = I_{b1} = I_{a2} = I_{b2} = I_{n \max} = \frac{I_{a \max} + I_{b \max}}{2},$$

где  $I_{a \max}$ ,  $I_{b \max}$  — нагрузки плеч, определенные при расчете мощности подстанции по формуле (4) при  $N = N_0$ ;

$I_{n \max}$  — средний выпрямленный ток подстанции при максимальных размерах движения, для которых определяется уровень напряжения.

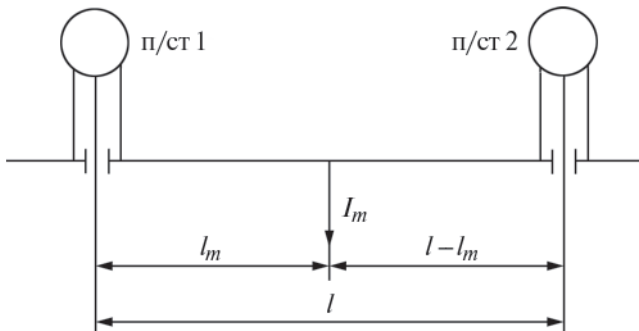


Рис. 4

Кроме того, примем также равными для обеих подстанций значения  $X_{вт}$ .

При этом условии из формул (39) и (41), что подстанция I питает расчетную зону отстающей фазой, получим

$$\Delta U_{\pi i} = 0,9k_{эф} X_{вт} \left( 2,5 \sin \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{l - 2l_m}{l} \cos \varphi \right) I_{\pi \max}. \quad (42)$$

После того как найдены значения средней потери напряжения в контактной сети и на подстанции, определяется общая потеря напряжения и средний уровень напряжения у поезда.

$$U = 0,9 \cdot 27500 - \Delta U_c - \Delta U_{\pi i}, \quad (43)$$

где  $\Delta U_c$  — средняя потеря напряжения в сети до поезда номер  $m$ ;  
 $\Delta U_{\pi i}$  — имеет прежнее значение.

По найденному значению  $U$  можно откорректировать минимальный интервал между поездами и перегонную пропускную способность.

Так как потеря напряжения в электровозе переменного тока составляет существенную величину, то она должна быть учтена при этой корректировке. В этом случае откорректированный интервал можно найти по формуле

$$T'_{пер} = T_{пер} + \left( \frac{0,9U_{нк} - Z_3 I}{U - Z_3 I} - 1 \right) t_3, \quad (44)$$

где  $Z_3$  — приведенное сопротивление электровоза (его в проекте можно принять равным 12 Ом);

$I$  — средний ток электровоза за время  $t_3$ , приведенный к выпрямленному напряжению;

$U_{нк} = 25$  кВ — номинальное напряжение в контактной сети, для которого выполнены тяговые расчеты;

$t_3$  — время хода под током по лимитирующему перегону.

Коэффициент 0,9 в формулах (43) и (44) введен для перехода к приведенному выпрямленному напряжению.

Средний ток электровоза, входящий в формулу (44), можно найти приближенно, разбив все время  $t_3$  на два — три промежутка. Если в течение этого времени ток электровоза мало изменя-

ется, то его среднее значение может быть взято непосредственно из тяговых расчетов.

По откорректированному значению нетрудно найти пропускную способность, которая является важнейшим параметром участка железной дороги:

$$N'_0 = \frac{1440}{T'_{\text{пер}}}. \quad (45)$$

Кроме среднего значения напряжения  $U$  за время потребления поездами энергии на участке, соответствующем межпоездному интервалу, согласно существующим нормам должно быть найдено среднее значение напряжения за время хода поезда по блок-участку, что при разграничении поездов тремя блок-участками соответствует времени  $T_{\text{пер}}/3$ . Для определения значения этой величины надо найти наибольшее среднее значение  $\Delta U_{\text{бы}}$  за время  $T_{\text{пер}}/3$ .

После этого можно найти средний уровень напряжения на блок-участке  $U_{\text{бу}}$  из формулы

$$U_{\text{бу}} = 27500 - 1,11 (\Delta U_{\text{бы}} + \Delta U_{\text{п}i}).$$

Здесь коэффициент 1,11 введен для перехода к потере действующего напряжения. Согласно существующим нормам эта величина не должна быть ниже 21 кВ. В случае если норма не удовлетворяется, студент должен предложить меры по повышению уровня напряжения.

Для выполнения п. 8 задания необходимо ознакомиться с методом имитационного моделирования, используемого для расчетов систем электроснабжения магистральных дорог [3] и метрополитена [7].

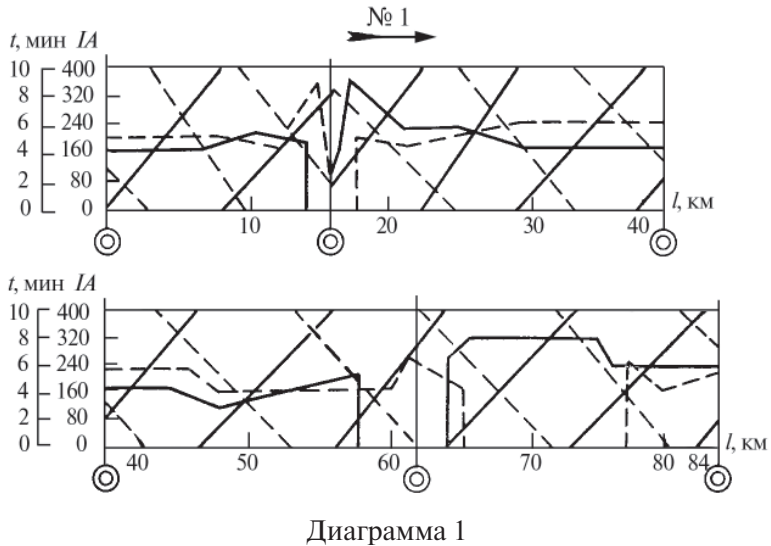
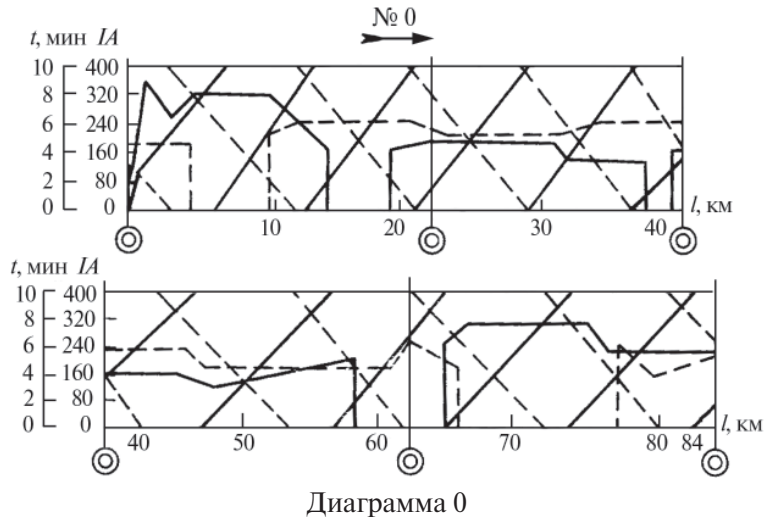
Кроме упрощенной блок-схемы алгоритма следует указать условия моделирования графика движения поездов в ЭВМ для расчета заданного параметра тяговой нагрузки. Как и прежде принимали, что в обращении находятся однотипные поезда. Перемещение поездов по расчетному участку может выполняться с равными интервалами, с неравными интервалами или со случайными интервалами, в зависимости от заданного параметра.

Таким образом, в качестве условия моделирования графика движения поездов нужно указать размеры движения поездов, значения интервала между поездами и длительность моделирования.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Диаграммы № 0-9 участка с указанием расположения станций и с упрощенными тяговыми расчетами

Выбор номера схемы участка производится в соответствии с предпоследней цифрой шифра



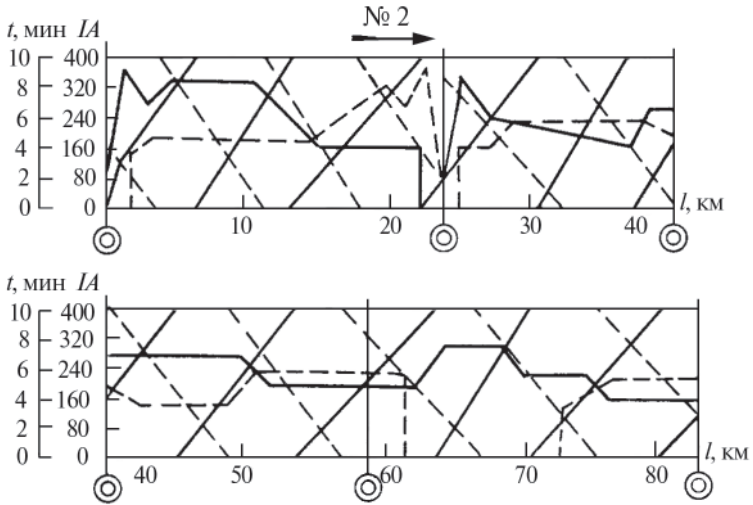


Диаграмма 2

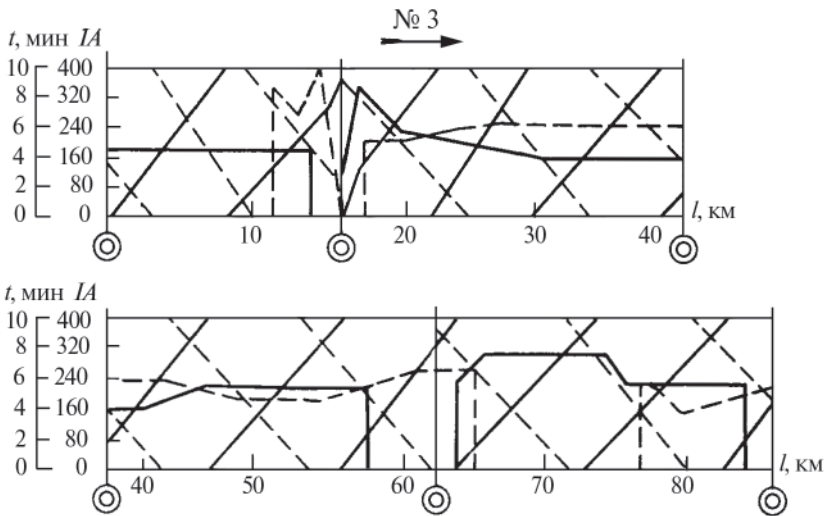


Диаграмма 3



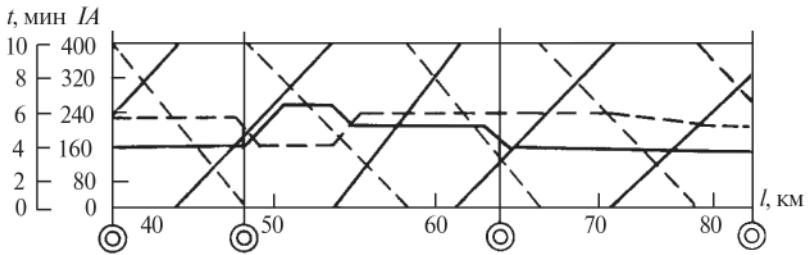
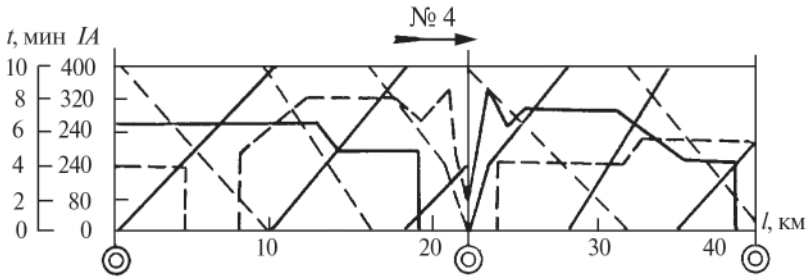


Диаграмма 4

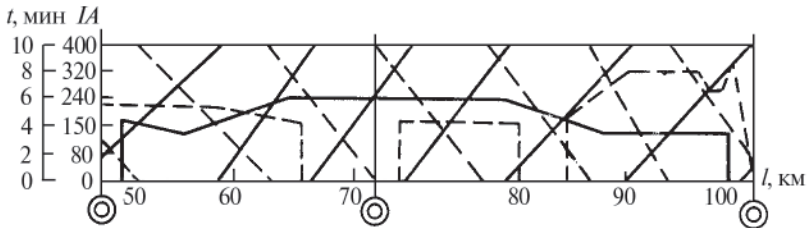
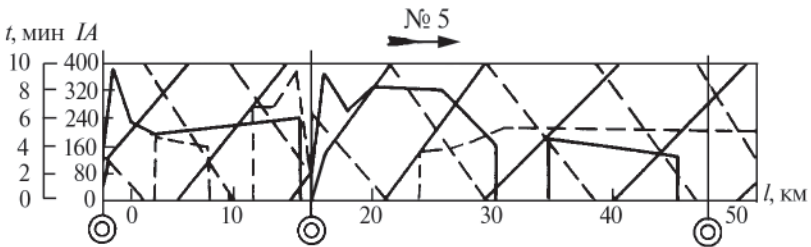


Диаграмма 5

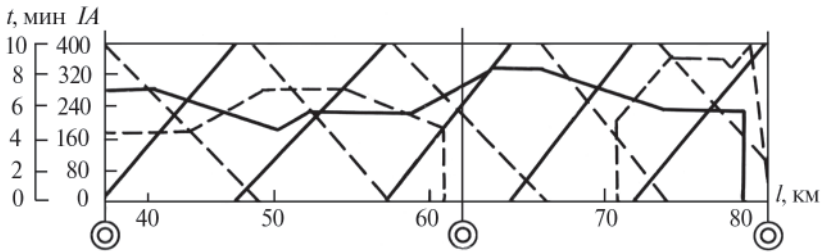
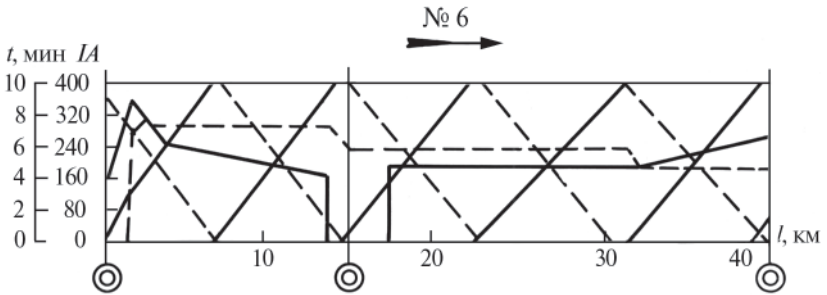


Диаграмма 6

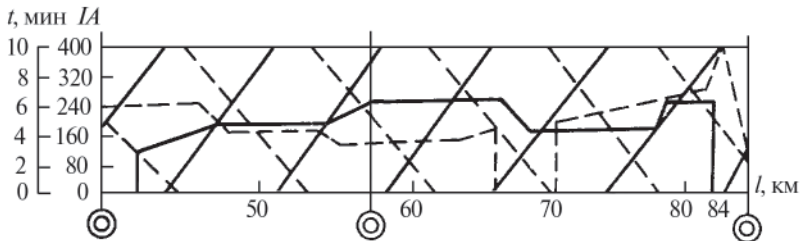
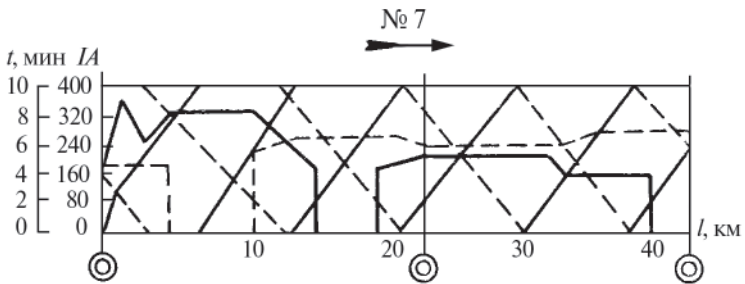


Диаграмма 7

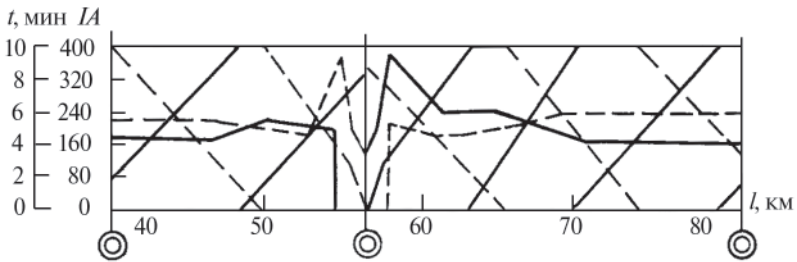
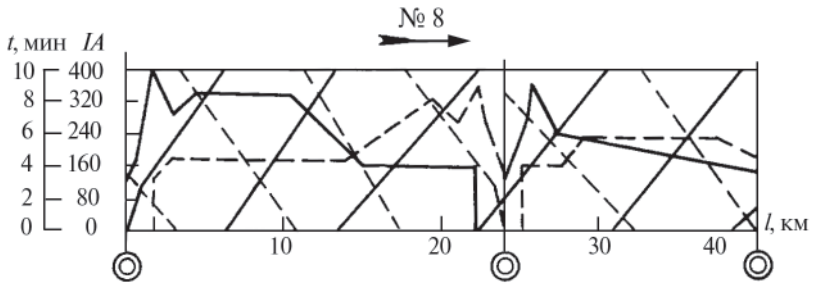


Диаграмма 8

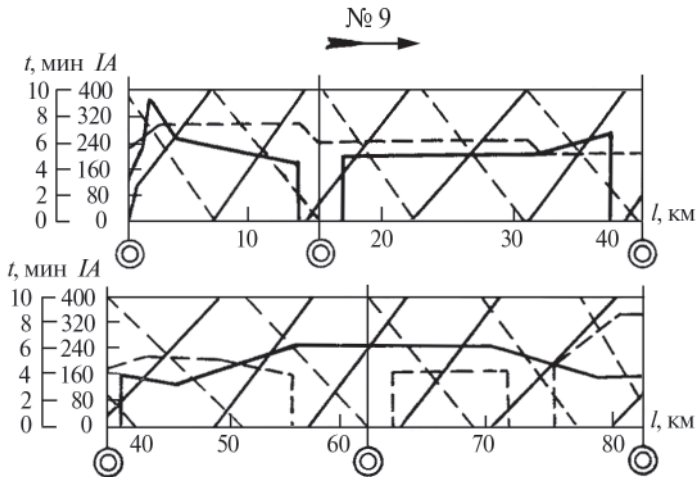


Диаграмма 9

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 3

**Расположение тяговых подстанций на участке  
(в таблице указываются километры, на которых расположены  
тяговые подстанции)**

Номер диаграм- мы*	Номер подстан- ции	Вариант (последняя цифра шифра)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	0	4	10	18	20	22	18	0	4	0
	2	40	44	44	55	64	66	62	40	46	44
	3	80	82	80	84	—	—	—	84	80	80
1	1	0	4	18	19	20	0	20	0	4	8
	2	40	44	62	60	62	38	65	36	40	44
	3	84	82	—	—	—	80	—	80	80	82
2	1	0	4	20	22	26	24	22	0	4	0
	2	40	44	62	60	64	58	62	36	40	44
	3	82	80	—	—	—	—	—	80	80	78
3	1	16	20	18	18	2	3	0	0	2	2
	2	63	64	66	60	43	40	46	41	42	40
	3	—	—	—	—	83	82	83	83	82	83
4	1	0	20	0	4	22	24	18	18	22	0
	2	46	62	44	44	64	64	62	66	68	36
	3	80	—	80	80	—	—	—	—	—	78
5	1	0	16	14	12	4	2	0	4	0	6
	2	46	54	52	48	50	48	50	55	42	46
	3	100	100	100	98	100	96	100	100	98	96
6	1	4	0	0	0	4	4	14	16	12	16
	2	38	40	36	44	40	44	60	62	44	60
	3	80	80	80	80	80	80	—	—	80	—
7	1	0	20	0	4	0	0	22	2	18	24
	2	40	62	33	44	44	36	66	38	64	62
	3	84	—	82	84	82	82	—	80	—	—
8	1	0	22	22	4	0	0	0	20	0	4
	2	40	58	60	44	36	44	36	60	38	36
	3	80	—	—	80	80	80	76	—	80	78
9	1	4	14	0	4	0	4	4	2	4	0
	2	40	60	44	44	36	40	38	42	40	40
	3	80	—	82	80	82	82	82	80	80	80

\*Выбирается по предпоследней цифре шифра.

Как указывалось, студент выбирает номер диаграммы по предпоследней цифре шифра, а расположение тяговых подстанций по последней. Так, например, студент, имеющий шифр 75 выбирает диаграмму № 7 (прил. 1) и располагает подстанции в начале участка, на 36-м и 82-м километрах (всего три подстанции). Студент, имеющий шифр 26 выбирает диаграмму № 2 и располагает подстанции на 22-м и 62-м километрах (две подстанции).

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

1. Тип дороги — магистральная.
2. Число путей — 2.
3. Тип рельсов — Р65.
4. Размеры движения — из табл. 4.

Таблица 4

Вариант (последняя цифра шифра)	Число пар поездов в сутки	Межпоездной интервал $\Theta_0$ , мин	$T_{\text{вос}}, \text{ч}$
0	70	10	1,2
1	75	10	1,7
2	80	10	2,4
3	85	9	2,0
4	90	8	1,6
5	95	8	2,0
6	100	8	2,5
7	105	8	3,0
8	110	7	2,0
9	115	7	2,5

**Примечание.** В таблице указаны заданные размеры движения за сутки интенсивного месяца. Средние размеры движения за сутки определяются путём деления числа пар поездов, указанного в таблице, на коэффициент неравномерности движения  $k_{\text{нд}} = 1,15$ . По этим размерам движения производятся расчёт энергии потерь и выбор экономического сечения проводов контактной сети.

5. На тяговых расчетах четное направление указано стрелкой (прил. 1).

6. Номинальное напряжение на шинах тяговых подстанций  $U_{\text{ш}} = 27,5 \text{ кВ}$ .

7. Трансформаторная мощность для районных потребителей берется из табл. 5.

Таблица 5

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Трансформаторная мощность для районных потребителей, МВ·А	10	15	5	7	12	20	18	10	15	17
Мощность короткого замыкания на вводах подстанции, МВ·А	500	600	700	800	900	1000	600	700	800	900

Данные по п. 11, 12 берутся по табл. 6

Таблица 6

Показатели	Вариант (цифра, указывающая число сотен в шифре)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_{\text{эл}}$ , сут.	220	230	240	250	260	250	240	230	220	240
$\Theta_{\text{охлс}}$ , °С	25	25	30	30	35	35	30	30	30	25
$\Theta_{\text{охлс}}$ , °С	15	15	2	25	25	25	20	15	20	15

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

1. Стоимость контактной сети переменного тока.

Таблица 7

Типы подвески		ПБСМ70+ +МФ100	ПБСМ95+ +МФ100	М95+ +МФ100	М120+ +МФ100
Стоимость км подвески, тыс.руб.	Без усил. провода	239	244	280	290
	С усил. проводом А185	266	283	293	317

2. Стоимость поста секционирования — 537 тыс. руб.

3. Амортизационные отчисления:

контактная сеть  $\alpha_k = 4,6\%$ ;

посты секционирования  $\alpha_n = 5,5\%$ .

4. Стоимость электрической энергии  $k_3 = 64$  коп./кВт·ч.

5. Напряжение короткого замыкания в процентах для трансформаторов

Мощность трансформатора в МВ·А	16	25	40
$U_k, \%$	11,2	10,7	10,5

Стоимость оборудования и электроэнергии указаны по ценам января 2001 г.



## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ш и л о в с к а я Р.В. Расчет системы электроснабжения электрических железных дорог: Лекция. Ч. 1. — М.: МГУ ПС (МИИТ), 2009.
2. Ш и л о в с к а я Р.В. Расчет системы электроснабжения электрических железных дорог: Лекция. Ч. 2. — М.: РГОТУПС, 2004.
3. М а р к в а р д т К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт, 1982.
4. Т е р - О г а н о в Э.В. Методические указания по определению трансформаторной мощности тяговой подстанций. — М.: ВЗИИТ, 1980.
5. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т. 1. — М.: Транспорт, 1980. — 256 с.
6. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. ГОСТ 14209-85 (ст. СЭВ 3916-82).
7. Б ы к о в Е.И. и др. Тяговые сети метрополитенов. — М.: Транспорт, 1987.
8. Обозначения условные графические в схемах ГОСТ 2.721-74, 2.751-74.
9. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин ГОСТ 1494-87.

# ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Задание на курсовой проект  
с методическими указаниями

Редактор *Г.Д. Тимченко*  
Компьютерная верстка *О.А. Денисова*

---

Тип. зак.	Изд. зак. 183	Тираж 500 экз.
Подписано в печать 2.06.09	Гарнитура NewtonС	Офсет
Усл. печ. л. 2,75		Формат 60×90 <sub>1/16</sub>

---

Издательский центр  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2