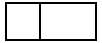


**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Москва 2015 г.



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»  
(МИИТ)**

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Проректор по учебно-  
методической работе –  
директор РОАТ  
Апатцев В.И.

Кафедра «Электрификация и электроснабжение»

Автор: к.т.н., проф. Шиловская Р.В.

Электроснабжение железных дорог

Задание на курсовую работу  
с методическими указаниями  
для студентов 5 курса

Специальность/направление: **190901\*.65-01 – СЭ**  
**«Электроснабжение железных дорог» (ЭНС)**

## ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

В зоне между двумя тяговыми подстанциями проверить пропускную способность по нагреву проводов контактной сети и уровню напряжения. Составить блок-схему программы расчёта значения : 1. Тока расчётного фидера для одной мгновенной схемы при раздельной работе путей. 2. Средней потери напряжения. 3. Среднего значения квадрата тока для расчётного фидера.

Исходные данные

1. Тип дороги — двухпутная, магистральная, электрифицированная на постоянном токе.
2. Напряжение, принятое при выполнении тяговых расчётов -  $u_k = 3000\text{В}$ .
3. Схема питания контактной сети — двухсторонняя схема с раздельным питанием путей.
4. Минимальный межпоездной интервал при напряжении  $U_n$ ,  $\delta_{01} = 9\text{мин}$ .
5. Тип рельсов Р65.
6. Расчётный фидер, сечение проводов контактной сети, допустимый по нагреву ток, путь, по которому идёт расчётный поезд, номер варианта для составления программы выбираются по приложению 1 в соответствии с цифрой, указывающей сотни в учебном шифре студента.
7. Кривые зависимости тока от пути выбираются по последней цифре учебного шифра студента по приложению 2.
8. Участок графика движения поездов выбирается по предпоследней цифре учебного шифра студента по приложению 3\*.
9. Тяговые подстанции расположены в начале и в конце участка.

Если учебный шифр студента состоит из одной или двух цифр, то недостающие цифры заменяются нулями.

---

\* В приложении даются упрощённые — линейные зависимости пути от времени. В действительности, в связи с тем, что скорость движения поезда по участку не постоянна, наклон нитей графика меняется.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При проектировании электроснабжения мощность тяговых подстанций, их расположение и сечение проводов контактной сети выбираются так, чтобы затраченные средства были использованы наиболее эффективно. В качестве критерия экономической эффективности капитальных вложений в настоящее время используются приведённые годовые расходы —  $\mathcal{E}_{np}$ .

Приведённые годовые расходы вычисляются по формуле

$$\mathcal{E}_{np} = \mathcal{E}_{эк} + E_n K, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_{эк}$  — ежегодные расходы на эксплуатацию, включая стоимость потерь электроэнергии в проводах контактной сети а также специальные отчисления (амортизационные отчисления) на капитальные ремонты и восстановление (реновацию) сооружения после окончания его нормативного срока службы;

$K$  — капитальные затраты на сооружение объекта, в данном случае системы электроснабжения;

$E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

При разных параметрах устройств электроснабжения значения  $\mathcal{E}_{np}$  будут разными. Обычно увеличение капитальных затрат приводит к снижению эксплуатационных расходов  $\mathcal{E}_{эк}$ . Например, автоматизация управления тяговых подстанций, постов секционирования требует увеличения капитальных затрат, но приводит к снижению расходов на эксплуатацию. Повышение капитальных затрат требуется и для увеличения сечения контактной сети, которое ведёт к снижению потерь энергии и, следовательно, расходов на эксплуатацию.

Экономически наиболее выгодным считается такой вариант сочетания параметров, при котором приведённые годовые расходы будут минимальными.

Однако на использование этого критерия наложены ограничения. В частности, нельзя принимать такое сечение проводов контактной сети, при котором один или несколько из них будут перегреваться, и терять, в связи с этим, прочность и износостойкость.

Нельзя выбирать такие сочетания мощности подстанций, их расположения и сечения контактной сети, при которых не будет обеспечена необходимая пропускная способность участка из-за снижения уровня напряжения или этот уровень окажется ниже нормируемого в ПТЭ (по условиям работы электро подвижно го состава).

Всё сказанное в полной мере относится и к эксплуатации системы электроснабжения, когда разрабатываются мероприятия по её усилению и усовершенствованию.

При проектировании и эксплуатации выбор наилучшего варианта производится в следующем порядке:

1. Намечается несколько вариантов решения задачи.

2. Для каждого варианта рассчитываются необходимые параметры устройств, общая их стоимость, годовые эксплуатационные расходы и приведённые годовые **затраты** —  $\mathcal{E}_{np}$ .

3. Из всех вариантов удовлетворяющих ограничениям, выбирается тот, при котором приведённые затраты будут меньше.

В курсовой работе не предусматривается полное решение задачи выбора варианта решения системы электроснабжения. Такая задача будет поставлена после изучения специальных дисциплин в дальнейшем.

Как следует из задания на курсовую работу, в ней необходимо произвести проверки по уровню напряжения и нагреву проводов для одной зоны между подстанциями.

Далее, в связи с этим рассматриваются способы проверки заданной зоны по уровню напряжения и нагреву проводов контактной сети.

Проверка контактной сети на нагрев производится приближённым методом путём сопоставления среднеквадратичного тока с длительно допустимым для данной контактной сети током, т. е. наибольшим током, при котором ни один из проводов, входящих в контактную сеть, не перегревается.

Среднеквадратичным называется такой неизменный ток, при котором в проводнике за определённый промежуток времени будет выделено такое же количество тепла, какое выделяется за этот же промежуток времени при изменяю-

щемся во времени токе. Количество выделенного тепла не может полностью определить наибольшую температуру провода. Эта температура зависит от условий его нагревания и охлаждения, которые при одном и том же количестве выделенного тепла, в случае разного характера кривой  $I(t)$ , могут отличаться. Поэтому проверка проводов на нагрев по среднеквадратичному току и является приближённой.

Курсовая работа должна быть выполнена на основе метода анализа графика движения. Основным исходным материалом для расчёта системы электроснабжения этим методом является график движения и кривые зависимости потребляемого локомотивами (электровозами, электропоездами) тока и пути.

Как известно, график движения поездов представляет собой семейство кривых зависимости пройденного пути от времени, построенных для различных поездов.

На рис. 1 представлен график движения поездов между двумя тяговыми подстанциями А и В за период времени Т для одного пути двухпутного участка (все поезда движутся в одну сторону). Кривые зависимости пути от времени для попадающих в период Т шести поездов обозначены на графике номерами 1, 3, 5, 7, 9 и 11.

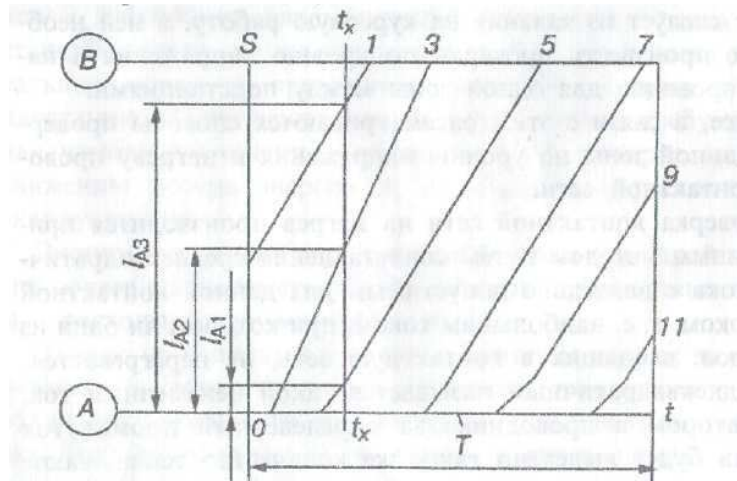


Рис. 1

Если поезда одинаковы по типу, как это принято в курсовой работе, то все эти кривые (нити графика) отличаются только началом отсчёта (сдвигом) по оси времени (рис. 3).

По графику движения можно установить, где расположены поезда в заданный момент времени. Например, на рис. 1 в момент времени  $t = t_x$  поезд №1 находится на расстоянии  $l_{A3}$  от подстанции А, поезд №3 — на расстоянии  $l_{A2}$  и поезд №5 — на расстоянии  $l_{A1}$ . Вертикальная линия  $t_x - t_x$  позволяющая найти расположение поездов в рассматриваемый момент времени, называется сечением графика движения.

В результате тяговых расчётов (решение уравнения движения поезда и расчёты по определению потребляемых локомотивом токов) или опытных поездок строится, в частности, диаграмма зависимости тока локомотива от пути. Для электровоза постоянного тока упрощённый вид её представлен на рис. 2 (в конкретных условиях характер такой диаграммы будет зависеть от серии локомотива, профиля пути, типа вагонов, массы состава, способа регулирования скорости подвижного состава и режима ведения поезда).

Диаграмма зависимости тока от пути даёт возможность найти ток локомотива, если известно расположение поезда на линии в данный момент. Естественно, что для данного участка пути диаграмма будет одна и та же для однотипных поездов.

Из сказанного следует, что график движения поездов (см. рис. 1) совместно с диаграммой (см. рис.2) дают возмож-

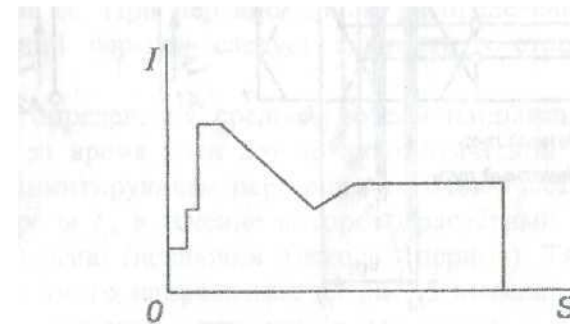


Рис. 2

ность найти токи, потребляемые локомотивами, и расположение поездов на линии, т.е. составить так называемую мгновенную схему. Для этого удобно пристроить диаграмму к графику движения, как это показано на рис. 3. На этом рисунке дан график движения в каждом направлении однотипных поездов на участке между тяговыми подстанциями А и В. Предполагается, что в этот период поездов другого типа на данном участке нет.

Точный учёт напряжения при расчёте скорости движения возможен только при выполнении тяговых расчётов одновременно с расчётом системы электроснабжения. Он может быть выполнен по специальному сложному алгоритму на ЭВМ. В курсовой работе предлагается использовать приближённый метод корректировки времени хода по среднему значению напряжения.

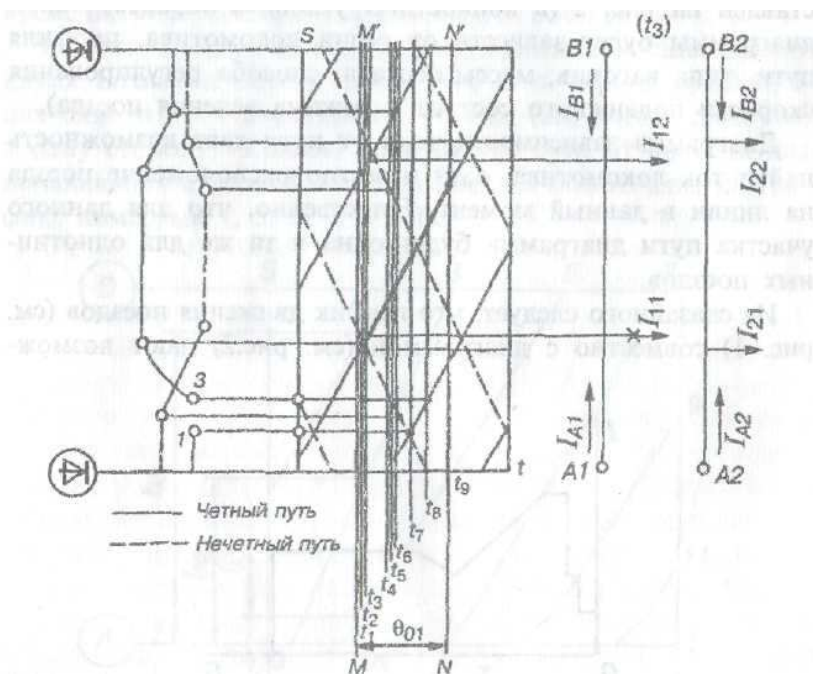


Рис.3

В задании требуется откорректировать минимальный межпоездной интервал, найти новую пропускную способность и среднее напряжение у поезда за время хода его по блок - участку.

При выполнении курсовой работы можно принять, что напряжение на шинах тяговых подстанций поддерживается стабильным и равным  $U_c = 3600$  В, благодаря применению автоматического регулирования. В этом случае среднее напряжение за время потребления энергии поездом при проходе рассматриваемого участка будет равно:

$$\bar{U} = U_c - \Delta\bar{U} \quad , \quad (2)$$

где  $\Delta\bar{U}$  — средняя потеря напряжения в тяговой сети до поезда за указанное время.

Эта величина, так же как и средняя потеря напряжения до поезда за время его хода по блок- участку, может быть определена по кривой зависимости  $\Delta U(t)$ .

Для корректировки пропускной способности следует наметить условный перегон, лимитирующий пропускную способность.

В качестве такого перегона выбирается отрезок пути, проходимый поездом за время  $\theta_{01}$ , на котором будет наибольшая потеря напряжения до поезда.

Если ток поезда при проходе им расчётной зоны изменяется мало, то такой перегон будет расположен примерно в середине её. При неравномерном распределении тока лимитирующий перегон следует сдвинуть в сторону больших токов.

Для определения средней потери напряжения в сети до поезда за время хода его по автоматической характеристике на лимитирующем перегоне или блок- участке надо выделить время  $t_3$ , в течение которого расчётный поезд потребляет энергию (исключив пусковой период). Такой интервал для нечётного направления на рис. 3 выделен линиями NN' и MM'. Участок нити расчётного поезда выделен жирной линией.

Затем следует подвергнуть анализу часть графика движения между этими линиями в одной фидерной зоне. Для этого рекомендуется применять метод характерных сече-

ний графика движения, дающий при равных затратах труда большую точность.

Для условий курсовой работы поезд в течение всего интервала  $\theta_{01}$  потребляет ток, и пуска за это время нет, поэтому  $t_3 = \theta_{01}$ .

При использовании метода характерных сечений графика движения, на кривых тока поездов намечаются характерные точки. На рис. 3 они отмечены кружками. Из этих точек проводятся горизонтальные прямые до пересечения их с нитями графика до соответствующих направлений. Так как при расчёте пропускной способности принимается, что в каждом направлении движутся поезда одного типа, то на рис. 3 приведено по одной кривой тока для каждого направления.

Через точки пересечения горизонтальных прямых с нитями поездов проводятся сечения графика.

При расчёте потери напряжения нас интересует изменение напряжения к поезду за время  $\theta_{01}$ , поэтому достаточно рассмотреть только те сечения, которые попадают в этот интервал.

Так как все межпоездные интервалы равны и все поезда в каждом направлении одного типа, то кривая зависимости тока фидера от времени будет периодической, с периодом  $\theta_{01}$ . Это значит, что

$$I_{\phi}(t) = I_{\phi}(t + \theta_{01}),$$

Из этого следует, что среднеквадратичный ток достаточно найти за время  $\theta_{01}$ , т.е. рассмотреть те же сечения, что и при расчёте потери напряжения.

Исходя из постоянной времени нагревания проводов, считают, что среднеквадратичный ток надо определять за 15-20 мин. Для заданных значений  $\theta_{01}$  в этот промежуток времени укладывается 2-3 интервала  $\theta_{01}$ . Но вследствие отмеченной периодичности кривой тока фидера, среднеквадратичный ток, определённый за время  $\theta_{01}$ ,  $2\theta_{01}$  и  $3\theta_{01}$ , будет один и тот же. Поэтому для проверки контактной сети на нагрев можно определить среднеквадратичный ток за один период  $\theta_{01}$ .

Таким образом, как для расчёта потери напряжения, так и для расчёта среднеквадратичного тока фидера достаточно рассмотреть только сечения графика движения за интервал  $\theta_{01}$ . Попадающие в этот интервал сечения, намеченные по

характерным точкам кривых тока, показаны на рис. 3. Они соответствуют моментам времени  $t_2$ ,  $t_3$ ...

При выполнении курсовой работы следует указывать числовые значения этих величин. Кроме этих сечений, надо рассмотреть также сечения в начале и конце интервала ( $t_1$ ,  $t_9$ ). Для всех таких сечений необходимо составить мгновенные схемы, на которых показать токи всех поездов, расположенных в рассматриваемый момент на линии, и выделить месторасположение поезда, до которого определяется потеря напряжения.

По заданию расчёты производятся для схемы с двухсторонним питанием контактной сети, поэтому нагрузки от поездов нечётного и чётного направлений сносятся на соответствующие пути. Для примера на рис. 3 показана одна мгновенная схема, соответствующая сечению графика в момент  $t_3$ . Расчётный поезд отмечен на ней крестиком.

После того как составлены мгновенные схемы, для каждой из них рассчитываются токи фидеров и потери напряжения до расчётного поезда.

Для упрощения этих расчётов можно принять сопротивления фидеров и отсасывающих проводов равными нулю. Расчёты токов фидеров и потери напряжения до поезда могут быть выполнены по методике, изложенной в [1-3].

Рассмотрим мгновенную схему (рис. 4), подобную изображённой справа на рис. 3. Вместо одной общей мгновенной схемы получили для одного момента времени две схемы для 1-го и 2-го путей. Этим мгновенным схемам соответствует электрическая схема, показанная на рис. 5.

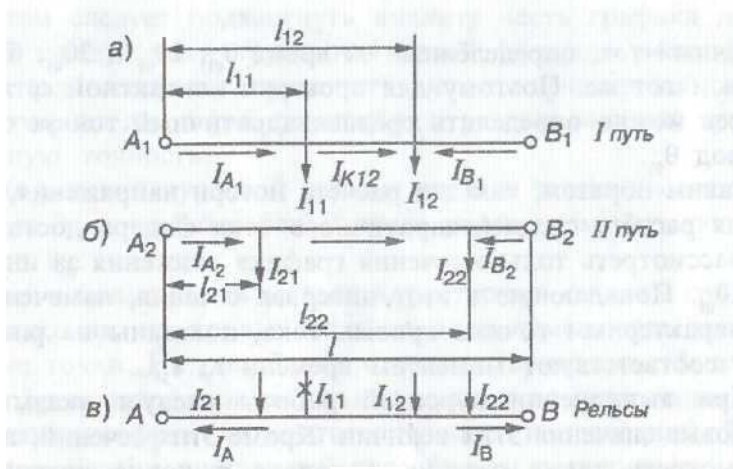


Рис.4

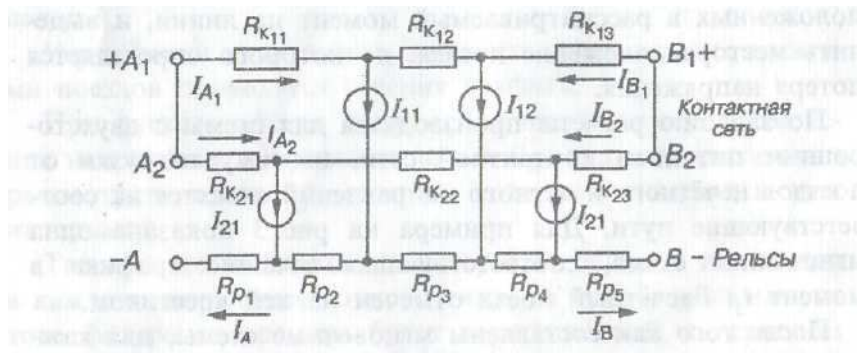


Рис.5

Методика расчёта токов фидеров и потери напряжения до поезда излагается применительно к числу и расположению нагрузок, показанных на рис. 4. Однако она легко может быть распространена на любые другие количества и расположения нагрузок.

Токи фидеров для схемы на рис- 4 легко найти по формулам, приводимый в упомянутой выше литературе. При равных напряжениях на шинах подстанций в неизменном по длине зоны сечения проводов контактной сети для первого пути (рис. 4) токи фидеров  $A_1$  и  $B_1$  будут:

$$\left. \begin{aligned} I_{A1} &= \frac{I}{l} [(l - l_{11})I_{11} + (l - l_{12})I_{12}] \\ I_{B1} &= \frac{I}{l} (l_{11}I_{11} + l_{12}I_{12}) \end{aligned} \right\} (3)$$

Аналогично могут быть определены токи фидеров  $A_2$  и  $B_2$  схемы, приведённой на рис. 4. В конкретных схемах, получаемых при выполнении работы, будут, конечно, получаться схемы с числом и расположением нагрузок, отличными от показанных на рис. 4.

После расчёта токораспределения легко найти потерю напряжения в контактной сети до любой нагрузки, в том числе и до расчётного поезда. Так, например, если расчётным является поезд 11, на первом пути, то

$$\Delta U_K = \Delta U_{K11} = r_{K11} l_{11} I_{A1}$$

если поезд 12, на том же пути, то

$$\Delta U_K = \Delta U_{K12} = \Delta U_{K11} + r_{K11}(l_{12} - l_{11})I_{K12}$$

или

$$\Delta U_K = r_{K1}(l - l_{12})I_{B1}.$$

Когда расчётный поезд расположен ближе к подстанции В, то обычно проще определять потерю напряжения до него со стороны подстанции В.

Для определения общей потери напряжения до расчётного поезда надо к потере напряжения в контактной сети добавить потерю напряжения до расчётного поезда в рельсах —  $\Delta U_P$ , т.е. найти

$$\Delta U = \Delta U_K + \Delta U_P.$$

Рельсы обоих путей соединяются во многих точках путей и поэтому работают параллельно. Для расчёта потери



напряжения в них надо на одну линию снести нагрузки 1-го и 2-го путей, чтобы получить мгновенную схему для рельсов, как это показано на рис. 4в. Токи в рельсах около подстанций А и В можно найти как сумму токов фидеров этих подстанций:

$$I_A = I_{A1} + I_{A2}, I_B = I_{B1} + I_{B2}$$

Зная токи  $I_A$  и  $I_B$ , можно определить потерю напряжения  $\Delta U_P$  до расчётного поезда тем же способом, что и в контактной сети. В этом случае, конечно, надо расчёт вести по сопротивлению одного километра рельсового пути двухпутного участка ( $r_p$ ) с учётом всех нагрузок 1-го и 2-го путей.

По результатам расчёта мгновенных схем может быть составлена таблица вида

Момент времени $t$ , мин	$t_1$	$t_2$	$t_K$
Ток фидера $I_\phi$ , А	$I_{\phi 1}$	$I_{\phi 2}$	$I_{\phi 1}/I_{\phi 2}$
Потери напряжения до расчётного поезда в контактной сети $\Delta U_K$ , В	$\Delta U_1$	$\Delta U_2$	$\Delta U_1/\Delta U_2$

Как видно из кривых (рис. 3), токи поездов могут иметь резкие, практически мгновенные изменения. На кривых рис. 3 им соответствуют характерные точки 1, 3 для поезда нечётного направления. Для учёта этого, на мгновенных схемах, соответствующих таким характерным точкам, в месте приложения такой нагрузки надо указывать два её значения. Эти значения записываются в виде дроби, в числителе которой указывается значение тока, непосредственно предшествующего резкому его скачку, а в знаменателе — непосредственно следующего за ним.

Расчёт такой мгновенной схемы выполняется при двух значениях такого тока, и результаты в такой же форме записываются в таблицу. Для примера показана запись потери напряжения и тока фидера в момент  $t_K$ .

В соответствии с таблицей строятся кривые зависимости  $I_\phi$  от  $t$  и  $\Delta U$  от  $t$  (рис. 6 и 7). После построения этих кривых можно найти среднеквадратичный ток фидера за время  $\theta_{01}$  и средние потери напряжения.

Приближённо будем считать, что за время  $\Delta t_k$  выделенное количество тепла пропорционально квадрату среднего за этот промежуток времени тока  $I_k$ . Тогда, исходя из приведённого определения среднеквадратичного тока, следует

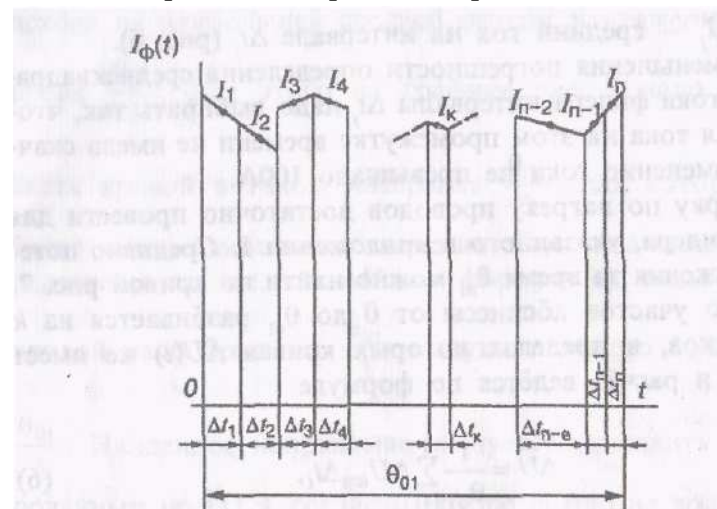


Рис.6

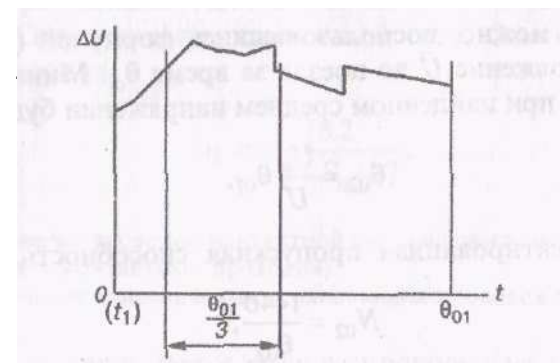


Рис. 7



$$I_{\vartheta}^2 \theta_{01} = \sum_{j=1}^n I_j^2 \Delta t_j.$$

Откуда

$$I_{\vartheta} = \sqrt{\frac{1}{\theta_{01}} \sum_{j=1}^n I_j^2 \Delta t_j}. \quad (5)$$

Здесь  $I_j$  — средний ток на интервале  $\Delta t_j$ , (рис, 6).

Для уменьшения погрешности определения среднеквадратичного тока фидера интервалы  $\Delta t$  надо выбирать так, чтобы кривая тока на этом промежутке времени не имела скачков, а изменение тока не превышало 100А.

Проверку по нагреву проводов достаточно провести для одного фидера, указанного в приложении 1. Среднюю потерю напряжения за время  $\theta_{01}$  можно найти по кривой рис. 7. Для этого участок абсциссы от 0 до  $\theta_{01}$  разбивается на  $k$  промежутков, в пределах которых кривая  $\Delta U(i)$  не имеет изломов, и расчёт ведётся по формуле

$$\Delta \bar{U} = \frac{1}{\theta_{01}} \sum_{j=1}^n \Delta U_{jcp} \Delta t_j, \quad (6)$$

где  $\Delta U_{jcp}$  — средняя ордината кривой на промежутке  $\Delta t_j$ , В;  
 $\Delta t_j$  — длительность этого промежутка, мин.

Зная  $\Delta U$ , можно, воспользовавшись формулой (2), найти среднее напряжение  $\bar{U}$  до поезда за время  $\theta_{01}$ . Минимальный интервал  $\theta_{02}$  при найденном среднем напряжении будет равен:

$$\theta_{02} = \frac{U_H}{U} \theta_{01}, \quad (7)$$

а откорректированная пропускная способность

$$N_{02} = \frac{1440}{\theta_{02}}, \quad (8)$$

где 1440 — число минут в сутках.

Кроме расчёта средней потери напряжения до поезда за время  $\theta_{01}$  и корректировки пропускной способности по заданию, надо найти среднее напряжение у поезда за время его хода по блок-участку —  $U_{6y}$ . Время хода по блок-участку можно принять равным  $\frac{\theta_{01}}{3}$ .

Следует найти минимальное значение этого напряжения, исходя из наибольшей средней потери напряжения  $\Delta U_{6y}$  за время  $\frac{\theta_{01}}{3}$ . Для этого на графике рис. 7 надо выделить

часть кривой в таком интервале  $\frac{\theta_{01}}{3}$ , для которого  $\Delta U_{6y}$  будет иметь наибольшее значение. Само значение  $\Delta U_{6y}$  определяется так же, как  $\Delta U$  (см. формулу 6), только участок кривой надо брать за  $\frac{\theta_{01}}{3}$  минуты и вместо  $\theta_{01}$  делить на  $\frac{\theta_{01}}{3}$ .

Найденное напряжение следует сопоставить с нормированным по ПТЭ, согласно которому оно не должно быть ниже 2700В.

Для расчёта потери напряжения до поезда необходимо знать сопротивление одного километра контактной сети и рельсов. Сопротивление контактной сети, Ом/км, определяется по формуле

$$r_K = \frac{18,2}{S_n = S_a / 1,7}, \quad (9)$$

где  $S_n$  — сечение проводов контактной сети (медного несущего троса и двух контактных проводов);  $S_a$  — сечение алюминиевых усиливающих проводов на один путь.

В работе принимается сечение проводов на общих путях одинаковым и, следовательно,  $r_{K1} = r_{K2} = r$ . Сопротивление

одного км рельсового пути двухпутного участка, при рельсах Р65  $r_p = 0,0077$  Ом/км.

Курсовая работа может быть выполнена в следующем порядке:

1. В соответствии с учебным шифром выбираются кривые тока (прил. 2), график движения (прил. 3). Кривые тока и график движения пристраиваются друг к другу, как показано на рис. 3.

2. Намечается расчётный поезд и условный перегон, время хода по которому  $\theta_{01}$ . Расчётный поезд берётся в зависимости от учебного шифра в чётном или нечётном направлении (см. прил. 1).

3. В соответствии с учебным шифром, исходя из сечений проводов, приведённых в прил. 1, определяется сопротивление одного километра контактной сети и рельсов.

4. На кривых тока намечаются характерные точки, в интервале  $\theta_{01}$ , проводятся соответствующие им сечения, составляются для этих сечений мгновенные схемы, рассчитываются потери напряжения до расчётного поезда и ток расчётного фидера (см. прил. 1).

5. Строятся кривые  $I_{\phi}(t)$  и  $\Delta U(t)$  (см. рис. 6 и 7).

6. Определяются среднеквадратичный ток расчётного фидера, средняя потеря напряжения  $\Delta U$  за время  $\theta_{01}$ , среднее напряжение у поезда за то же время  $U$ . Находится пропускная способность при напряжении  $U$ .

Определяется средняя потеря напряжения до поезда  $\overline{\Delta U_{\theta_{01}}}$  за  $\frac{\theta_{01}}{3}$  минут и среднее напряжение у поезда за это время.

7. Составляется блок-схема программы определения расчётных параметров.

Дается заключение о соответствии полученных результатов действующим нормам.

На этом выполнение курсовой работы завершается.

#### ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

Работа должна содержать расчётную и графическую части.

В расчётной части должны быть приведены все вычисления, связанные с определением сопротивления тяговой сети и потерь напряжения для всех мгновенных схем.

В графической части следует привести все мгновенные схемы с указанием на них расстояний до нагрузок и значения нагрузок; график с диаграммами токов (по типу, приведённому на рис. 3); графики зависимости тока фидера и потери напряжения от времени (рис. 6 и 7).

Для диаграмм тока и графика по типу рис. 6 и 7 рекомендуются следующие масштабы:

по току —  $m_t = 1/20$  мм/А;

по пути —  $m_s = 20$  мм/км;

по времени —  $m_t = 10$  мм/мин,

Для кривых  $I(f)$  и  $\Delta U(t)$  рекомендуется взять масштабы напряжения  $m_v = 1/5$  мм/В, тока  $m_t \sim 1/10$  мм/А и масштаб времени  $m_t = 10$  мм/мин.

Студент должен принять и другие масштабы, которые позволят с достаточной точностью выполнить все расчёты.

Оформление работы должно отвечать требованиям ЕСКД.

#### ЛИТЕРАТУРА

##### Основная

1. Шиловская Р.В. Расчёт системы электроснабжения электрических железных дорог: Лекция. Часть 1. — М.: РГОТУПС, 2011. — 52 с.

2. Фомина З.А. Электрические железные дороги. Уч. пос. — М.: МИИТ, 2011. — 84с.

##### Дополнительная

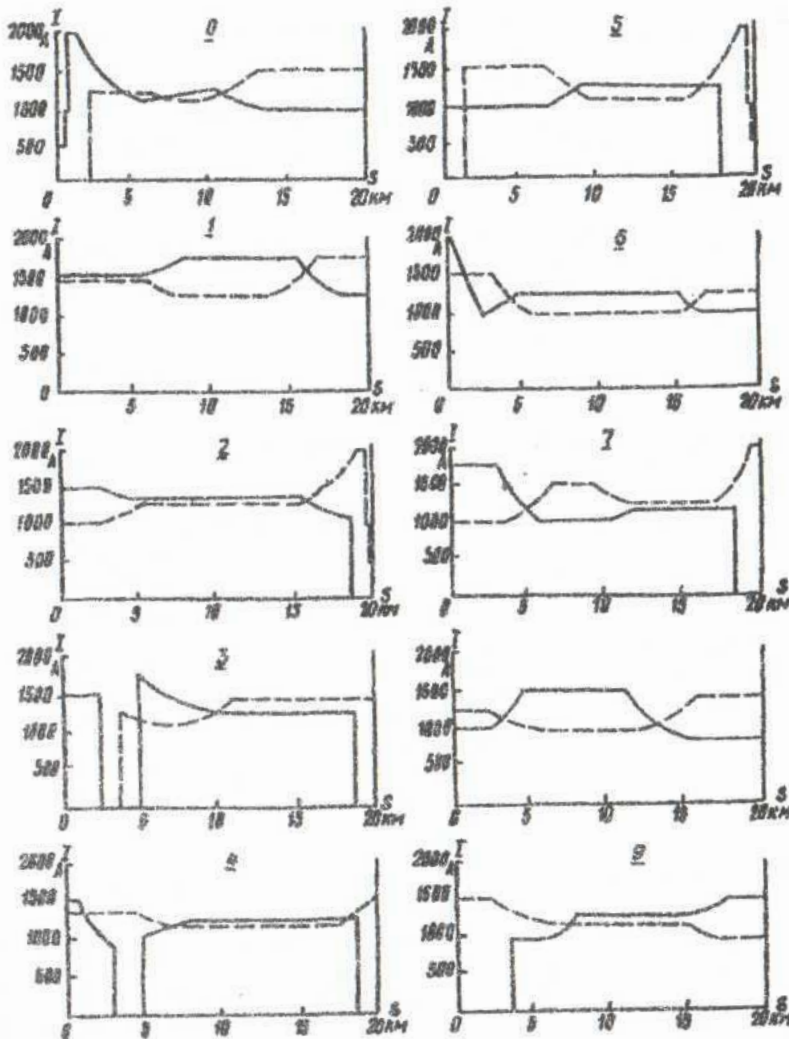
3. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт, 1982. — 528 с.

4. Пронтарский А.Ф. Системы и устройства электроснабжения. — М.: Транспорт, 1983, — 264 с.

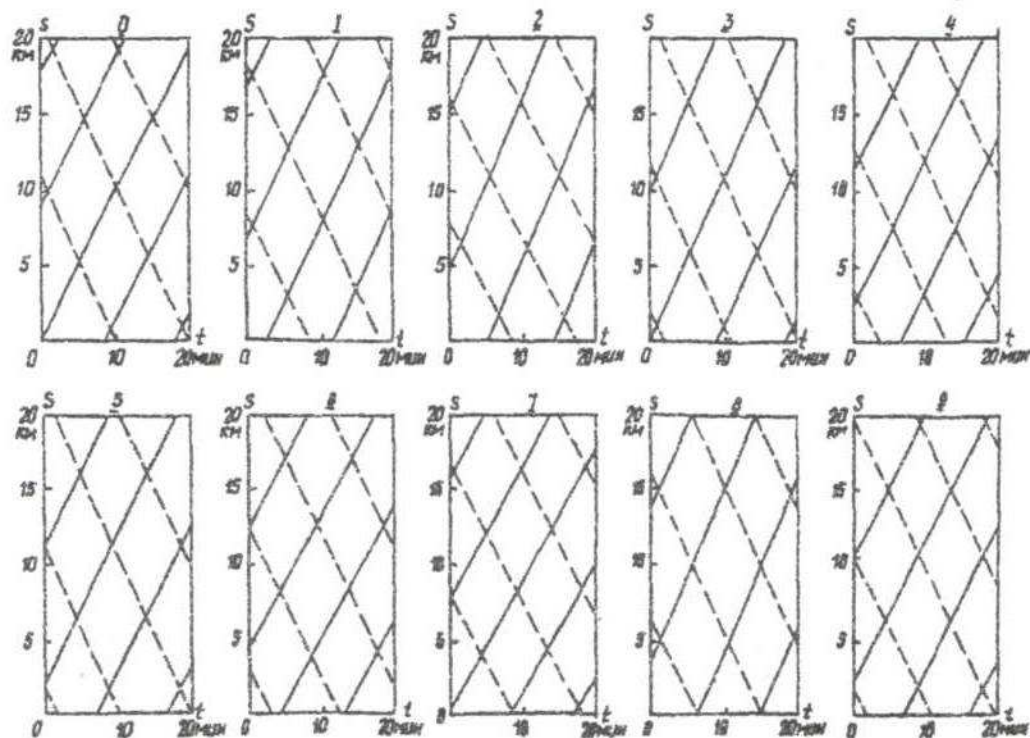
Сечение проводов контактной сети

Вариант*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип подвески	M95+ 2МФ100	M120+ 2МФ100	M120+ 2МФ100	M95+ 2МФ100	M120+ 2МФ100	M120+ 2МФ100	M120+ 2МФ100	M95+ 2МФ100	M120+ 2МФ100	M120+ 2МФ100
Число усиливающих проводов А185 на один путь	0	0	1	1	2	2	1	1	2	2
Путь, по которому идёт расчётный поезд	чётный	нечётный	чётный	нечётный	чётный	нечётный	чётный	нечётный	чётный	нечётный
Расчётный фидер	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
Допустимый по нагреву ток, А	1800	1880	2510	2370	3140	3140	2510	2370	3140	3140
Номер варианта для составления программы	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1

\* Выбирается по цифре, указывающей сотни в учебном шифре студента.



\* Номер схемы выбирается по последней цифре учебного шифра.



\* Номер графика выбирается по предпоследней цифре учебного шифра.