

Министерство путей сообщения СССР

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного
транспорта

На правах рукописи

Инженер КОМЛЫК Виктор Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ СИММЕТРИРОВАНИЯ И КОМПЕНСАЦИИ
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТИПОВЫХ НАГРУЗОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

/ Специальность - 05.22.09 - Электрификация
железнодорожного транспорта /

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск, 1974 г.

НТБ
ДНУЖТ

Министерство путей сообщения СССР

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного
транспорта

На правах рукописи

Инженер КОМЛЫК Виктор Иванович

68/3a
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ СИММЕТРИРОВАНИЯ И КОМПЕНСАЦИИ
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТЯГОВЫХ НАГРУЗОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

/ Специальность - 05.22.09 - Электрификация
железнодорожного транспорта /

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск, 1974 г.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряка

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта. Экспериментальная часть выполнена в электротехнической лаборатории и на электрифицированных участках ордена Ленина Юго-Западной железной дороги.

Научный консультант:

кандидат технических наук, доцент МАМОШИН
Реммир Романович.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ФИГУРНОВ
Евгений Петрович;

кандидат технических наук, доцент ПОЧАЕВЦ
Эдуард Степанович.

Ведущее предприятие:

Всесоюзный проектный институт Трансэлектропроект
МПС СССР.

Автореферат разослан "28" июня 1974 г.

Защита диссертации состоится "6" октября 1974 г.

на заседании Ученого совета Днепропетровского института инженеров
железнодорожного транспорта /320629 ГСП, г.Днепропетровск, 10,
ул.Университетская, 2, ДИИТ/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА ДИИТА,
канд.хим.наук, доцент

В.Н.ШЛОТНИК

НТБ
ДНУЖТ

В В Е Д Е Н И Е

Девятый пятилетний план, принятый на XIX съезде КПСС, поставил перед народным хозяйством страны и перед транспортом, в частности, большие задачи. Намечено увеличение на одну треть объема транспортных перевозок главным образом за счет увеличения производительности труда, повышения эффективности работы всех звеньев транспорта. Большая роль в решении этих задач принадлежит электрифицированным железным дорогам.

Переход электрической тяги на систему переменного тока промышленной частоты явился прогрессивным мероприятием в развитии железнодорожного транспорта страны. Более 14 тыс. км. железнодорожных линий СССР к концу 1973 года электрифицировано по этой системе. Наиболее существенные преимущества системы электрической тяги на однофазном переменном токе заключаются в снижении потребности цветных металлов и капитальных затрат по контактной сети, а также эксплуатационных расходов по тяговым подстанциям, повышение уровня напряжения в контактной сети, увеличение пропускной способности электрифицированных участков железных дорог и др. Наряду с этими преимуществами, переход электрической тяги на систему однофазного тока связан с несимметричной нагрузкой фаз питающих энергосистем и, как следствие, несимметрией напряжений у приемников, питающихся от общей с тяговыми нагрузками высоковольтной сети. Несимметрия токов и напряжений в этой сети приводит к увеличению потерь энергии и уменьшению пропускной способности линий электропередач и трансформаторов, а также к снижению располагаемой активной мощности генераторов, синхронных и асинхронных машин и т.д.

Применение на электровозах однофазного тока выпрямителей приводит к искажениям синусоидального напряжения и, тем самым, к появ-

НТБ
ДНУЖТ

лению высших гармонических в кривых токов и напряжений в системе электроснабжения электрической тяги. Таким образом, несимметрия токов и напряжений на линиях тяговых подстанций и наличие в них высших гармоник являются характерными чертами системы электроснабжения, обеспечивающей питание электрической тяги при однофазном токе. Полностью исключить как несимметрию нагрузок по фазам, так и высшие гармоники в кривых напряжений и токов технически не представляется возможным. Речь может идти о предельно возможном уменьшении этих недостатков, учитывая необходимость повышения качества электрической энергии, потребляемой как электроподвижным составом, так и районными потребителями. Кроме того, уменьшение загрузки системы электроснабжения токами обратной последовательности, обусловленными неравномерным распределением тяговых нагрузок по фазам питающей сети, позволяет использовать резервы, которыми обладает система электрификации ж.д. на однофазном токе, повысить ее эффективность.

В настоящее время для уменьшения неравномерности загрузки фаз в системе электроснабжения ж.д. применяют циклическую схему присоединения тяговых подстанций к питающей сети, разработанную ЦНИИ МПС, а также устройства компенсации реактивной мощности. Исследования показывают, что указанная схема симметрирования подстанций весьма эффективна, так как позволяет существенно снизить несимметрию токов и напряжений в сетях электроснабжения и, соответственно, связанные с этим потери энергии. Особенно это сказывается при одинаковых модулях и коэффициентах мощности нагрузок плеч питания подстанций. Однако в реальных условиях коэффициенты мощности и модули нагрузок существенно отличаются друг от друга. Кроме того, в проектной практике, а также в процессе монтажа и эксплуатации электрических железных дорог, конкретные условия вынуждают отходить от общепринятых рекомендаций в отношении фазировки тяговых подстанций с питающей сетью, в результате чего иногда принимаются решения без надлежащего обоснования.

НТВ
ДНУЖТ

Проблемам качества электрической энергии в сетях дорог переменного тока, взаимодействию электровозов с системой электроснабжения посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых. Следует отметить работы Бессонова В.А., Воронова Р.А., Гохштейна Б.Я., Заварнакина А.Н., Караева Р.И., Мамошина Р.Р., Марквардта К.Г., Марквардта Г.Г., Сыромятникова И.А., Тамазова А.И., Тер-Газаряна Г.Н., Тихменева Б.Н., Фигурнова Е.П., Шалимова М.Г., Церазова А.Д., Эбана Д.Е. и др.

Выбор схемы присоединения подстанций и вопросы компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения ж.д. объединены общей задачей уменьшения непроизводительных затрат энергии в системе электроснабжения тяги и должны рассматриваться совместно.

Настоящая работа посвящена разработке методики расчета различных вариантов схем присоединения тяговых подстанций к питающей сети, в основу которой положены наиболее важные экономические показатели работы системы электроснабжения дорог однофазного тока, а также технико-экономическому исследованию влияния этих схем на показатели качества энергии для конкретных электрифицированных линий ж.д.

I. Первая глава работы посвящена анализу применяемых способов симметрирования тяговых нагрузок в трехфазной питающей сети.

Электрифицированные железные дороги переменного тока получают питание, как правило, от продольных линий внешнего электроснабжения напряжением 110-220 кв, с помощью которых осуществляется передача и распределение электрической энергии энергосистем страны. Однофазный характер, сравнительно низкий коэффициент мощности тяговых нагрузок, применение выпрямительных электровозов требуют дальнейшего усовершенствования электрической тяги переменного тока с целью уменьшения снижения качества электрической энергии в энергосистеме, вызываемого тяговыми нагрузками.

НТБ
ДНУЖТ

Для симметрирования тяговых нагрузок по фазам питающей сети применяется циклическое изменение фазировки подстанций, получающих энергию от одного источника питания таким образом, чтобы наименее нагруженная фаза ЛЭП чередовалась между подстанциями. Если при этом нагрузки фидерных зон по модулю и аргументу одинаковы, то каждые три подстанции будут создавать равномерную по фазам нагрузку для источника питания.

В реферируемой работе произведено исследование влияния отклонений от принятых допущений на симметрирование тяговых нагрузок в питающей сети, из которого следует, что одновременные изменения соотношения нагрузок плеч питания подстанций " γ " и угла между ними " φ " могут приводить к значительным изменениям величины тока обратной последовательности $/\text{ТОП}/$ по модулю и аргументу. Следовательно, ТОП, протекающие по участкам линий внешнего электроснабжения, также в значительной степени будут зависеть от указанных выше соотношений.

Как известно, большое влияние на симметрирование тяговых нагрузок оказывает применение устройств компенсации реактивной мощности. Так как токи компенсации приводят к изменению величин " γ " и " φ ", то, согласно полученным данным, можно производить предварительную оценку влияния этих устройств на симметрирование тяговых нагрузок.

Полученные в проведенной работе данные подтверждают большую эффективность циклической схемы чередования фазировки при равных нагрузках плеч питания подстанций или незначительных отклонениях " γ " от 1 и " φ " от $\frac{\pi}{3}$. При значительных же отклонениях указанных величин значения модуля ТОП на участках линии внешнего электроснабжения при циклической схеме присоединения подстанций мало отличается от величины ТОП при отсутствии специальных мероприятий по фазировке тяговых подстанций. Очевидно, что кроме этих двух пре-

НТБ
ДНУЖТ

дельных случаев должны существовать другие схемы фазировки подстанций, которые могут больше соответствовать задаче равномерного распределения тяговых нагрузок по фазам питающей сети. Иными словами, схема симметрирования является функцией нагрузок подстанций, т.е. является предметом выбора в каждом конкретном случае.

В настоящее время на эксплуатируемых участках железных дорог переменного тока в общей сложности около 50% реальных схем присоединения подстанций соответствуют циклической. Остальные схемы обусловлены конкретными условиями электрифицированных участков и не имеют технико-экономического обоснования. Это обстоятельство в сочетании с тем, что симметрирующий эффект циклической схемы основан на допущениях, которые /как показано в работе/ в реальных условиях никогда не выполняются, обуславливает острую необходимость в рассмотрении других возможных схем присоединения подстанций к шинам внешнего электроснабжения и их технико-экономического влияния на работу сети электроснабжения.

II. Вторая глава диссертации посвящена исследованию потерь энергии, обусловленных ТОП, при различных схемах фазировки подстанций.

Нагрузки плеч питания подстанций переменного тока зависят прежде всего от количества поездов, находящихся на прилегающих к данной подстанции фидерных зонах, от профиля пути в зоне питания подстанции, режима напряжения как на шинах рассматриваемой подстанции и соседних с ней, так и в системе внешнего электроснабжения, а также от других факторов.

В настоящее время МИИТ'ом, ВЗНИТ'ом и другими институтами разрабатывается методика, позволяющая определять нагрузку плеч питания подстанций с учетом основных факторов, влияющих на эти нагрузки. Изменение указанных нагрузок во времени представляет собой случайный процесс. Поэтому рассмотрение неравномерности нагрузок плеч питания

НТБ
ДНУЖТ

подстанций представляется целесообразным с помощью анализа большого числа статистических данных нагрузок подстанций, работающих в разных условиях.

Для обработки статистических данных нагрузок подстанций методами теории вероятности и математической статистики была разработана соответствующая программа для ЭВМ "Минск-22".

Результаты расчетов по этой программе сводятся к получению оценок математического ожидания, дисперсии, среднеквадратического отклонения, величины ошибки оценки математического ожидания, обусловленной ограниченной величиной длительности реализации и шага дискретности, значений и графиков нормированной автокорреляционной и взаимнокорреляционной функций двух случайных процессов, статистические данные которых представляют собой исходную информацию для расчетов.

Результаты обработки с помощью ЭВМ большого числа статистических данных нагрузок тяговых подстанций Юго-Западной ж.д., работающих в различных условиях /с применением устройств компенсации реактивной мощности /УК/ и без них, имеющих крупные жел. дор. станции и узлы на одной из фидерных зон, и т.д./, показали, что среднесуточные значения соотношений нагрузок плеч питания подстанций изменяются в диапазоне от 0,23 до 3,5, а угол между этими нагрузками от 48° до 143° .

В связи с такими значительными отклонениями " γ " и " φ_i " от условий наибольшей эффективности применения циклической схемы фазировки подстанций ($\gamma = 1$ и $\varphi_i = \frac{\pi}{3}$) возникает необходимость в анализе схем присоединения подстанций к ЛЭП внешнего электроснабжения с последующими технико-экономическими сравнениями этих схем.

До настоящего времени не рассматривались схемы присоединения подстанций, которые учитывали бы конкретные нагрузки плеч пита-

НТБ
ДНУЖТ

ния и коэффициенты мощности этих нагрузок. Объясняется это главным образом тем, что расчеты схем присоединения подстанций очень громоздки и без применения ЭВМ выполнить их практически невозможно. Вместе с тем эти расчеты становятся необходимыми в связи с возрастающими требованиями к качеству электрической энергии.

Применяемому в настоящее время проектную схему присоединения подстанций будем рассматривать как один из вариантов таких схем и наряду с другими оценивать его по технико-экономическим показателям. Критерием такой оценки может служить среднее значение суммарных потерь мощности в системе внешнего электроснабжения. Часть этих потерь, вызываемая Топ, обусловлена неравномерным распределением тяговых нагрузок по фазам питающей сети и зависит, наряду с другими факторами, от схемы присоединения подстанций к шинам внешнего электроснабжения. Минимальное значение этих потерь будет являться одним из основных показателей наибольшей выгодности применяемого варианта этих схем.

При рассмотрении вариантов схем присоединения подстанций будем исходить из того, что одновременно от одного источника питания получают энергию не более пяти тяговых подстанций /другие случаи чрезвычайно редки/.

Из всех возможных вариантов схем присоединения подстанций к ЛЭП внешнего электроснабжения оставим для рассмотрения только те из них, которые: 1/ позволяют параллельную работу трансформаторов на контактную сеть и 2/ влекут за собой изменение величины модуля Топ в сети внешнего электроснабжения,

НТБ
ДНУЖТ

исключив из рассмотрения те варианты, для которых изменяется только направление вектора ТОП. В итоге получим 17 вариантов схем присоединения подстанций.

Общее выражение для определения величины модуля ТОП питающего центра через ТОП подстанций имеет вид.

$$I_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{2i}^2 + 2 \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=1}^{n-j} I_{2i} \cdot I_{2(i+j)} \cdot \cos(\gamma_{(i+j)} - \gamma_i)}, \quad (1)$$

где

γ_i - угол вектора ТОП, вызываемого нагрузками i -ой подстанции, относительно вектора напряжения $\dot{U}_n$ системы внешнего электроснабжения;

I_{2i} - модуль ТОП, вызываемого нагрузками i -ой подстанции;

n - число подстанций, получающих энергию от одного центра питания.

Используя выражение /1/ и переходя к исходной информации о нагрузках плеч питания подстанций, структурную формулу для определения суммарного ТОП с учетом пяти подстанций можно представить в следующем виде:

$$I_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{H + 2 \{ M + \sqrt{H_1 + M_1} \cdot [\sqrt{H_2 + M_2} \cos \varphi_2 + \sqrt{H_3 + M_3} \cos \varphi_3 + \sqrt{H_4 + M_4} \cos \varphi_4 + \sqrt{H_5 + M_5} \cos \varphi_5] + \sqrt{H_2 + M_2} \cdot [\sqrt{H_3 + M_3} \cos \varphi_6 + \sqrt{H_4 + M_4} \cos \varphi_7 + \sqrt{H_5 + M_5} \cos \varphi_8] + \sqrt{H_3 + M_3} \cdot [\sqrt{H_4 + M_4} \cos \varphi_9 + \sqrt{H_5 + M_5} \cos \varphi_{10}] + \sqrt{H_4 + M_4} \cdot \sqrt{H_5 + M_5} \cos \varphi_{11} \}} \quad (2)$$

НТБ
ДНУЖТ

Значения $H + H_0$ не зависят от схемы присоединения подстанций, они одинаковы для всех 17 вариантов и равны:

$$H_i = I_{\lambda i}^2 + I_{ni}^2,$$

$$H = \sum H_i,$$

$$H_6 = H_4 \cdot H_5$$

Значения M изменяются в зависимости от варианта схемы присоединения подстанций.

$$M_i = 2 I_{\lambda i} I_{ni} \cos \left(\frac{2\pi}{3} + \varphi_{\lambda i} - \varphi_{ni} \right),$$

$$M = \frac{1}{2} \sum M_i.$$

Угол $\varphi_2 + \varphi_n$ между векторами ТОН подстанций также зависит от схемы присоединения подстанций.

$$\varphi_n^m = \arctg \frac{d_1 I_{\lambda i} I_{\lambda j} \sin \gamma_c + d_2 I_{ni} I_{nj} \sin \gamma_p + \dots}{I_{\lambda i} I_{\lambda j} \cos \gamma_c + I_{ni} I_{nj} \cos \gamma_p + \dots}$$

$$\dots \frac{+ d_3 I_{\lambda i} I_{nj} \sin \gamma_h + d_4 I_{ni} I_{\lambda j} \sin \gamma_t}{+ I_{\lambda i} I_{nj} \cos \gamma_h + I_{ni} I_{\lambda j} \cos \gamma_t} + \gamma_g \quad (3)$$

Для упрощения записи выражения /3/ для всех значений

$n = 2 + II$ и всех вариантов $m = I + I7$ применим матричную форму записи.

I/ Матрица индексов, общая для всех вариантов

$$\Delta_{ii}^m = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ 1 & 4 \\ 1 & 5 \\ 2 & 3 \\ 2 & 4 \end{vmatrix}$$

НТБ
ДНУЖТ

$$\begin{vmatrix} 2 & 5 \\ 3 & 4 \\ 3 & 5 \\ 4 & 5 \end{vmatrix}$$

Номера строк матрицы Δ^I соответствуют значениям "п", а столбцов - "i" и "j".

2. Матрицы коэффициентов d разные для вариантов схем присоединения.

Для первого варианта она имеет вид

$$\Delta_n^I = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Номер строки матрицы Δ_n^I соответствует значениям "п", а столбца - номеру коэффициента "d".

3. Матрица углов для третьего варианта имеет вид.

$$\Delta_y^I = \begin{vmatrix} 7 & 10 & 1 & 0 & 14 \\ 2 & 0 & 7 & 9 & 12 \\ 7 & 10 & 1 & 0 & 14 \\ 2 & 0 & 7 & 9 & 12 \\ 9 & 8 & 0 & 1 & -13 \\ 0 & 2 & 10 & 8 & -11 \\ 9 & 8 & 0 & 1 & -13 \\ 7 & 10 & 1 & 0 & -14 \\ 2 & 0 & 7 & 9 & -12 \\ 9 & 8 & 0 & 1 & -13 \end{vmatrix}$$

Номер строки матрицы Δ_y^I соответствует значениям "п", а столбцов - углам в следующей последовательности $\gamma_c, \gamma_p, \gamma_h, \gamma_t$ и γ_f .

НТБ
ДНУЖТ

Значениям матрицы соответствуют следующие выражения:

$$1. \quad (\varphi_{Ai} - \varphi_{Pi}) + (\varphi_{Aj} - \varphi_{Pj});$$

$$2. \quad (\varphi_{Ai} - \varphi_{Pi}) - (\varphi_{Aj} - \varphi_{Pj});$$

$$14. \quad \varphi_{Pi} - \varphi_{Aj}.$$

В приведенных выражениях:

$I_{Ai}, I_{Pi}, \varphi_{Ai}, \varphi_{Pi}$ - модули и аргументы соответственно нагрузок левого и правого плеча питания i -ой подстанции;

"к" - коэффициент приведения Топ к направлению питающей сети.

После определения Топ на всех участках системы внешнего энергоснабжения суммарные потери мощности для каждого варианта могут быть вычислены по известному выражению

$$\Delta P_2 = \sum_{\ell=1}^d (I_{2\ell})^2 Z_{\ell}, \quad (4)$$

где

d - число участков ЛЭП, по которым протекают Топ, вызываемые тяговыми нагрузками.

На основании выражений /2/ и /4/ был разработан алгоритм и составлена программа расчета вариантов схем присоединения подстанций на ЭВМ "Минск-22". На первом этапе согласно статистическим данным схем питания тяговых подстанций переменного тока и возможности ЭВМ на вычислительных центрах дорог для расчета принято три подстанции, получающих энергию от одного центра питания. При этом число вариантов схем присоединения подстанций сокращается до семи. Программой предусмотрена возможность одновременного расчета семи вариантов схем присоединения трех подстанций. Рас-

НТБ
ДНУЖТ

четы производятся для каждого испытания, после чего вычисляются вероятностные характеристики интересующих величин. Этим достигается повышение точности полученных результатов.

Исходная информация для расчетов должна быть получена в виде статистических данных нагрузок плеч питания определенного числа подстанций. Достоверность этой информации будет зависеть главным образом от класса точности измерительных приборов, от одновременности измерений на всех подстанциях, а также от равенства промежутков времени между измерениями.

Используя систему телеуправления подстанциями и решив некоторые вопросы автоматизации процесса получения статистических данных тяговых нагрузок, была достигнута синхронность измерений на всех подстанциях и равные промежутки времени между этими измерениями.

В работе произведен расчет вариантов схем присоединения трех подстанций для двух энергоучастков Юго-Западной ж.д., результаты которого приведены в таблице № 1.

Полученные данные показывают, что различные варианты схем присоединения подстанций в большой степени отличаются по величине ТОО в линии внешнего электроснабжения и, соответственно, по суммарным потерям мощности, обусловленным неравномерной нагрузкой фаз питающей сети тяговыми нагрузками. Естественно, что ни один из рассчитываемых вариантов не позволяет свести суммарные потери от ТОО к нулю, но тем не менее для наихудшего варианта эти потери на 70% больше, чем для варианта с наименьшими потерями. Кроме этого, потери мощности от ТОО можно уменьшить примерно на 20%, применяя вместо циклической схемы /четвертый вариант/ более рациональный вариант схемы присоединения подстанций. Разработанная программа расчетов позволяет в процессе

НТБ
ДНУЖТ

Таблица № I

Показатели /п/		Варианты схем присоединения							Исключая I-й вариант					
		I	2	3	4	5	6	7	$\frac{P_{max}}{P_{min}}$	$\frac{P_{\Sigma}}{P_{min}}$	$\frac{P_{min}}{P_{max}}$	$\frac{P_{\Sigma}}{P_{max}}$		
Потери мощности от ТОО	мощности кВт	9ч-2	316,4	82,6	142,3	67,6	233	177,5	115,5	165,4	0	70,9	0	
		9ч-1	46,6	42,1	88,1	52,1	36,6	82,6	72,6	51,5	15,5	58,4	29,7	
	Потери напряжения де тгмост или подстанции 9ч-2 (кВ)	$\frac{P}{\sigma T}$	ΔU_A	1,25	2,3	0,82	1,11	1,65	1,36	1,83	1,48	0,29	64,3	35,8
		ΔU_n	8,08	2	2,38	2,36	2,67	2,74	2,38	0,74	0,86	27	15,2	
		$\frac{P}{\sigma T}$	ΔU_A	4,4	2,42	2,62	2,52	4,3	3,82	3,73	1,88	0,1	43,7	3,9
		ΔU_n	2,32	3,27	3,42	3,11	2,2	2,64	2,52	1,22	0,91	35,6	29,2	
		$\frac{P}{\sigma T}$	ΔU_A	2,6	2,97	3,83	2,75	2,44	3,69	3,56	1,39	0,31	36,2	11,2
		ΔU_n	4,32	2,96	2,52	3,09	4,28	1,42	1,63	2,29	1,15	54,1	37,2	
Потери мощности от уравнивающих кабелей (кВт)	9ч-2	$\Phi.3.1$	18,4	11,2	9,42	11,2	10,7	26,3	26,3	16,9	1,78	64,1	15,8	
		$\Phi.3.2$	32,6	28	22,1	26,5	41	38,7	46,5	24,4	4,4	52,4	16,6	
		$\Phi.3.1$	46,8	67,9	29,6	67,9	47,9	40,6	40,6	38,3	38,3	56,4	56,4	
		$\Phi.3.2$	34,6	32,4	23,1	32,4	36,3	20,7	20,7	15,6	11,7	42,9	36,1	
		$\Phi.3.3$	73,1	64,6	77	64,6	74,6	93,5	93,5	28,9	0	30,9	0	
		9ч-1												

эксплуатации и.д. переменного тока оценить схемы фазировки трансформаторов с питающей сетью и произвести соответствующие изменения согласно результатам расчетов на ЭВМ.

В проектной практике она может быть использована как одна из подпрограмм при расчете системы электроснабжения на ЭВМ.

III. Третья глава диссертации посвящена исследованию влияния схем присоединения подстанций на потерю напряжения до тяговых линий подстанций и величину уравнительных токов.

На экономические показатели работы электрических железных дорог большое влияние оказывает уровень напряжения на токоприемнике подвижного состава. Этот уровень напряжения зависит от многих факторов, одним из которых является выбор схемы присоединения подстанций к линиям внешнего электроснабжения.

Общее выражение для определения потерь напряжения до тяговых или подстанций можно представить в следующем виде:

$$M(\Delta U_{ji}) = \sum_{k=1}^3 \left\{ Z_{\Sigma(i)}^k [M(I_1^k \cdot \cos \gamma_1^k) + n_{ji}^k \times \right. \\ \times M(I_2^k \cdot \cos \gamma_2^k) + f_{ji}^k \cdot M(I_2^k \cdot \sin \gamma_2^k)] + \\ + X_{\Sigma(i)}^k [M(I_1^k \cdot \sin \gamma_1^k) + p_{ji}^k \cdot M(I_2^k \cdot \sin \gamma_2^k) + \\ \left. + l_{ji}^k \cdot M(I_2^k \cdot \cos \gamma_2^k) \right\}, \quad (5)$$

где

$M(\Delta U_{ji})$ - математическое ожидание потери напряжения до или i-ой подстанции,

K - номер подстанции, от нагрузок которой определяется потеря напряжения,

НТБ
ДНУЖТ

j - номер варианта,

g - индекс фазы, для которой определяется потеря напряжения /"g" соответствует фазе "а", "в", "с"/,

Z_{ki}^a, X_{ki}^a - суммарные активное и индуктивное сопротивление до или 1-ой подстанции для участков, по которым протекает ток к-ой подстанции,

$h_{gj}^a, f_{gj}^a, p_{gj}^a, l_{gj}^a$ - коэффициенты, учитывающие сдвиг по фазе ТП для различной фазировки трансформаторов на подстанциях,

$I_1^a, I_2^a, \delta_1^a, \delta_2^a$ - модули и аргументы токов соответственно прямой и обратной последовательности, вызываемые нагрузками к-ой подстанции.

Значения коэффициентов $h_{gj}^a \div l_{gj}^a$ можно представить в виде прямоугольной матрицы

$$\Delta_{gi}^a = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{vmatrix}$$

Номера строк матрицы Δ_{gi}^a соответствуют индексам фаз "а", "в", "с", а столбцов - значениям коэффициентов $h_{gj}^a, f_{gj}^a, p_{gj}^a, l_{gj}^a$.

На основании формулы /5/ составлены выражения для различных вариантов схем присоединения. При этом для подстанций с фазировкой трансформаторов I', II' и III' надлежит применять ТП I₂'. Это учитывается с помощью матрицы индексов Δ_{gi} , в строках которой расположены номера вариантов, а в столбцах - номера подстанций. При этом единица матрицы соответствует I₁, а ноль - I₂.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряна

НТБ
ДНУЖТ

68139

$$\Delta u = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

Уравнительные токи /УТ/, протекая по тяговой сети и элементам системы внешнего электроснабжения, вызывают увеличение потерь мощности, перераспределение нагрузок между параллельно работающими подстанциями, влияют на выбор основной и резервной трансформаторной мощности для питания тяги. На величину УТ оказывают влияние многие факторы, основными из которых являются падение напряжения в ЛЭП, наклон внешних характеристик, величины коэффициентов трансформации трансформаторов параллельно работающих подстанций и др. При рассмотрении влияния схем присоединения подстанций на величину УТ учтены первые два фактора. Оценка этого влияния производится по величине суммарных потерь мощности от УТ во всех элементах рассматриваемой системы электроснабжения участка и.д.

Общее выражение для определения потерь мощности от УТ на любой из фидерных зон имеет вид:

$$M(\Delta P_{ур}) = \frac{Z_{ji}}{Z_{ji}^2} \cdot M[(R_e \delta U_j - R_e \delta U_{(j+1)})^2 + (I_m \delta U_j - I_m \delta U_{(j+1)})^2], \quad (8)$$

где

Z_{ji} , Z_{ji} - активное и полное сопротивление цепи замещения для УТ i-ой фидерной зоны,

$R_e \delta U_j$, $R_e \delta U_{(j+1)}$ - проекции падений напряжений до тяговых шин соответственно j и j+1 подстанций,

НТБ
ДНУЖТ

питающих i -ю фидерную зону, на вещественную ось,

$I_{m\delta U_j}, I_{m\delta U_{(i+j)}}$ - то же, на мнимую ось.

Применительно к расчету схем присоединения трех подстанций структурная формула потерь мощности от УТ для фидерной зоны между второй и третьей подстанциями /здесь и далее, нумерация подстанций ведется от центра питания/ имеет вид:

$$M(\Delta P_{1,II}) = a[A_1(B_1 + B_2) + a_2(A_2 + B_2) + a_3B_3 - a_4B_4 - a_5B_5 + a_6B_6]. \quad (9)$$

Значения $a \div a_6$ представляют собой соответствующие сопротивления участков ЛЭП и тяговой сети и не зависят от варианта схемы присоединения подстанций.

$$A_j = M\left[\sum_{h=1}^2 (I_h^j)^2\right],$$

где

h - номер последовательности симметричных составляющих токов i -ой подстанции

$$B_e = M\left(\sum_{m=1}^4 I_m^k \cdot \sum_{n=1}^4 K_{mn}^e \cdot I_n^t\right),$$

где

e - номер значения B в структурной формуле, $m = 1, 2, 3, 4$ обозначают индексы „Re I_1 “, „Re I_2 “, „Im I_1 “, „Im I_2 “

Для каждого значения индексов m подстанции K соответствуют те же значения n и индексы подстанции t .

Коэффициент K_{mn}^e определяется для каждого варианта из квадратной матрицы, которая имеет следующий общий вид:

НТБ
ДНУЖТ

$$\Delta K_{mn} = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{vmatrix}$$

Для другой фидерной зоны между первой и второй подстанциями структурная формула имеет вид:

$$M(\Delta P_{y p \bar{n}}) = c [c_1 (C_1 + D_1) + c_2 (C_2 + D_2) + c_3 (C_3 + D_3) + \\ + c_4 D_4 + c_5 D_5 - c_6 D_6 - c_7 D_7 - c_8 D_8 - c_9 D_9 + \\ + c_{10} D_{10} + c_{11} D_{11} + c_{12} D_{12}]. \quad (10)$$

Слагаемые выражения /10/ определяются аналогично выражению /9/. Для практических расчетов согласно выражениям /5/, /9/ и /10/ необходимы вероятностные характеристики проекций симметричных составляющих нагрузок подстанций. Для получения их по статистическим данным нагрузок плеч питания подстанций разработаны алгоритмы и составлена программа для ЭВМ "Минск-22".

В реферируемой работе приведены результаты расчетов для указанных выше электрифицированных участков и.д. потерь напряжения до-тяговых шин подстанций, потерь энергии от уравнительных токов для семи вариантов схем присоединения подстанций /таблица № 1/.

Приведенные данные показывают, что выбор схемы присоединения оказывает существенное влияние на величину потерь напряжения и потерь энергии от УТ. Для рассматриваемых семи вариантов потери напряжения на 50%, а потери мощности от уравнительных токов на 60% отличаются друг от друга.

IV. Четвертая глава посвящена исследованию влияния схем присоединения подстанций на выбор мощности и эффективность использования устройств поперечной компенсации на подстанциях.

В предыдущем анализе вариантов схем присоединения подстанций уделено внимание влиянию пассивных средств на повышение качества энергии на шинах тяговых подстанций переменного тока. В настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом, все большее применение находят статические источники реактивной мощности, которые по праву можно отнести к активным источникам повышения качества энергии на подстанциях. Эти два способа повышения качества энергии взаимно связаны друг с другом и необходимо рассматривать их совместное воздействие на систему электроснабжения и.д.

В работе использована методика выбора установленной мощности компенсирующих устройств на подстанциях /УК/, предложенная к.т.н. доц. Р.Р.Мамониным, основанная на минимизации приведенных годовых расходов, составляющей которых являются расходы на покрытие потерь мощности в системе электроснабжения от источника питания до тяговых шин подстанций.

При отсутствии УК на подстанциях указанные потери мощности для вариантов схем присоединения подстанций изменяются на величину, определяемую ТОО. Потери мощности обусловленные ТОО в этом случае не зависят от схемы присоединения подстанций. С учетом применения УК минимальная составляющая ТОО зависит от установленной мощности УК, а, следовательно, и от схемы присоединения подстанций.

Общее выражение для определения суммарных потерь мощности с учетом токов компенсации в системе электроснабжения от

источника питания до тяговых шин подстанций можно представить в следующем виде:

$$M(\Delta P) = M \left\{ \sum_{g=1}^p [(Re I_{1g})^2 + (Re I_{2g})^2 + (Im I_{1g})^2 + (Im I_{2g})^2] \cdot Z_g + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n [(Re I_{1i})^2 + (Re I_{2i})^2 + (Im I_{1i})^2 + (Im I_{2i})^2] \cdot Z_i \right\}, \quad (11)$$

где

$M(\Delta P)$ - математическое ожидание потерь мощности,

$Re I_{1g}, Im I_{1g}, Re I_{2g}, Im I_{2g}$ - вещественные и мнимые составляющие соответственно токов прямой и обратной последовательности g -го участка системы внешнего электроснабжения,

$Re I_{1i}, Im I_{1i}, Re I_{2i}, Im I_{2i}$ - то же, токов в трансформаторах i -ой подстанции.

Z_g, Z_i - активное сопротивление соответственно участков линии внешнего электроснабжения и трансформаторов,

p, n - количество соответственно участков и подстанций.

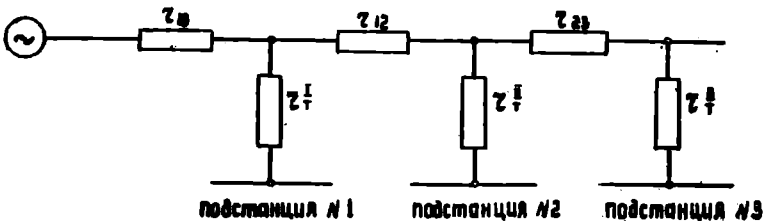


Рис. 1.

НТБ
ДНУЖТ

Согласно расчетной схеме на рис. 1 структурную формулу для определения суммарных потерь можно представить в следующем виде:

$$M(\Delta P) = a_1(Z_{10} + Z_7^I) + (b_4 + b_6) \cdot Z_{10} + a_2(Z_{10} + Z_{13} + Z_7^I) + \\ + b_3(Z_{10} + Z_{12}) + a_3(Z_{10} + Z_{12} + Z_{23} + Z_7^I) \quad (12)$$

Значения сопротивления понятины из рис. 1.

$$a_i = M \{ (I_{\lambda i}^i)^2 + (I_n^i)^2 + (I_{ck}^i)^2 - 0,5 [I_m I_k^i (\sqrt{3} R_e I_o^i - I_m I_o^i) - \\ - R_e I_k^i (\sqrt{3} I_m I_o^i + R_e I_o^i) - I_{ck}^i (\sqrt{3} R_e I_o^i - I_m I_o^i - 4 I_m I_k^i)] \},$$

где

i - номер подстанции / i = I, II, III /,

k - индексо левой или правой фидерной зоны,

o - индекс, сопряженный с индексом "k", т.е., если индекс "k" обозначает левую фидерную зону, то индекс "o" - правую.

Значение индекса "k" для семи вариантов схем присоединения можно определить из следующей матрицы:

$$\Delta_k^k = \left\| \begin{array}{cccccccc} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right\|$$

В матрице Δ_k^k число строк равно количеству рассматриваемых подстанций, а столбцов - числу вариантов схем присоединения этих подстанций. Единица матрицы соответствует обозначению индексом "k" левой фидерной зоны, а нуль - правой фидерной зоны.

НТБ
ДНУЖТ

$$b_4 = M \left(\sum_{m=1}^5 I_m^I \sum_{j=1}^5 K_{mj}(4) \cdot I_j^{\text{II}} \right);$$

$$b_5 = M \left(\sum_{m=1}^5 I_m^{\text{II}} \sum_{j=1}^5 K_{mj}(5) \cdot I_j^{\text{III}} \right);$$

$$b_6 = M \left(\sum_{m=1}^5 I_m^I \sum_{j=1}^5 K_{mj}(6) \cdot I_j^{\text{III}} \right).$$

В этих выражениях:

значениям $m = 1, 2, 3, 4, 5$ соответствуют индексы нагрузок $Re I_A, I_m I_A, Re I_n, I_m I_n, I_{CK}$, т.е. нагрузка левой фидерной зоны, вещественная составляющая и т.д. Для каждого значения "m" аналогичным индексам соответствуют значения "j".

Каждому из вариантов схем присоединения подстанций соответствует группа коэффициентов K_{mj} порядок применения которых можно представить в виде квадратной матрицы:

для первого варианта /в качестве примера/

$$\Delta b_4^I = \begin{vmatrix} \frac{1}{4} & 1 & \frac{\sqrt{3}}{4} & 0 & 0 \\ 1 & \frac{1}{4} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{4} & \frac{\sqrt{3}}{4} \\ \frac{\sqrt{3}}{4} & 0 & \frac{1}{4} & 1 & -1 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{4} & 1 & \frac{1}{4} & -\frac{1}{4} \\ \frac{\sqrt{3}}{4} & 0 & -\frac{1}{4} & -1 & 1 \end{vmatrix}$$

Число и номера строк матрицы соответствуют значениям "m", а столбцов - значениям "j".

Таким образом, получены выражения, позволяющие определить для семи вариантов схем присоединения подстанций суммарные потери мощности при отсутствии УК, установленную мощность УК для каждой подстанции, суммарные потери мощности с учетом УК на отстающей фазе подстанций.

НТБ
ДНУЖТ

В реферируемой работе выполнены расчеты по определению указанных выше показателей для рассматриваемых ранее электрифицированных участков и.д. /некоторые результаты этих расчетов даны в таблице № 2/.

Приведенные данные показывают, что от варианта схемы присоединения подстанций зависит не только величина установленной мощности УК на каждой из рассматриваемых подстанций, но и целесообразность применения УК на той или иной подстанции. Уменьшение потерь мощности, вызываемых тяговыми нагрузками, с учетом применения УК в значительной степени /28,5%/ зависит от схемы присоединения подстанций.

Окончательный выбор варианта схемы присоединения подстанций производится по величине приведенных годовых расходов, методика расчета которых разработана к.т.н., доц. Р.Р.Мамошиным. В таблице № 3 приведены результаты расчетов по этой методике годовых расходов, которые показывают, что суммарные приведенные годовые расходы существенно зависят от схемы присоединения подстанций /до 20% /.

Для двух рассматриваемых электрифицированных участков, где применен второй вариант схемы присоединения подстанций, необходимо произвести изменение для ЭЧ-2 на четвертый, а для ЭЧ-1 на пятый вариант схемы присоединения, в результате чего достигается уменьшение потерь электрической энергии более чем на 1 млн. квт.ч в год. Согласно приведенным годовым расходам экономическая эффективность такого мероприятия составляет около 8000 рублей в год.

На основании полученных результатов НТС службы электрификации и энергетического хозяйства Юго-Западной ордена Ленина железной дороги принял решение об изменении схемы присоединения подстанций на Казатинском энергоучастке.

По работе можно сделать следующие выводы:

1. Разработана методика и программы расчета схем присоеди-

НТБ
ДНУЖТ

Таблица № 2

Показатели /п/			В а р и а н т ы							Исключая первый вариант				
			1	2	3	4	5	6	7	Поток-Поток	ПВ-Поток	1- Поток Поток %	1- Поток ПВ %	
Токи компенсации подстанции /а/	8ч-2	Потери мощности до тяговых линий п/от (квт)	8ч-2	945	755	828	728	900	871	882	177	0	30,9	0
		8ч-1	118,1	117,1	182,9	121,8	114	129,8	125,2	18,9	7,8	14,2	6,4	
		п/от 1	-97,3	84,7	-99,5	-56	276	-80	148	276	0	100	0	
		п/от 2	-0,6	7,04	68,3	76,1	-19,4	-81,2	-48	81,2	76,1	100	100	
		п/от 3	67	115	11,4	98,8	17,6	-7,25	-11,5	115	98,8	100	100	
		п/от 1	-227	-126	-227	-227	-126	-227	-126	-	-	-	-	
	8ч-1	п/от 2	-234	-158	-158	-158	-234	-234	-234	-	-	-	-	
		п/от 3	130,6	130,6	1,3	130,6	130,6	1,3	1,3	129,8	129,3	99	99	
		Установленная мощность уст. ком. (квар)	8ч-2	2512	7458	2858	6106	11156	2856	5535	8300	3250	74,8	53,2
			8ч-1	4493	4424	44,1	4784	4477	45,5	44,9	4740	4740	99	99
			п/от 1	ΔU_A	1,11	2,26	0,78	1,058	1,49	1,24	1,71	1,58	0,82	67,7
		ΔU_n		8,08	1,5	2,14	2,12	1,49	2,74	1,7	1,25	0,63	45,6	29,7

НЕ
ДНУЖТ

Продолжение таблицы № 2

Показатели /п/			В а р и а н т ы							Исключая первый вариант			
			1	2	3	4	5	6	7	Поток-Поток	ПВ-Поток	1- Поток Поток %	1- Поток ПВ %
Потери на- пряжения до- тяговых под- станций ЭЧ-2 (квт)	п/ст 2	ΔU_A	4,4	1,62	1,3	1,23	4	3,74	3,49	2,77	0	69,2	0
		ΔU_n	2,1	2,98	3,35	2,71	1,7	1,98	2,38	1,65	1,01	49,2	37,3
	п/ст 3	ΔU_A	1,98	2	3,83	1,84	1,56	3,42	3,42	2,26	0,27	59	14,7
		ΔU_n	4,45	2,76	1,3	2,86	4,06	1,31	1,63	2,76	1,56	68	54,5
Потери мощ- ности уравни- тельных токов ЭЧ-2 (квт)	Ф.3 1		35,3	79,4	7,5	78,3	30,6	104,3	80,6	96,8	70,8	92,8	94
	Ф.3 2		32,9	18,3	26,6	39,8	107,5	55,2	74,6	89,2	13,2	83	33,2
Потери мощ- ности с учетом устр.комп. (квт)	ЭЧ-2		927	679	797	661	776	823	831	138	0	16,7	0
	ЭЧ-1		98,6	98,2	132,7	102,8	94,5	129,5	125	38,2	7,8	28,7	7,6

НТБ
ДНУЖТ

ТАБЛИЦА № 3

Расходы (тысячи руб.)		В а р и а н т ы						
		I	2	3	4	5	6	7
На кап.затраты по оборудованию УК конденсаторами	ЭЧ-2	3,52	10,44	40	8,89	15,62	40	77,48
	ЭЧ-1	62,05	62,9	69	6,38	6,24	0,06	0,06
На кап.затраты по оборудованию УК реакторами	ЭЧ-2	0,22	0,65	0,25	0,53	0,91	0,25	0,46
	ЭЧ-1	0,39	0,38	0,004	0,42	0,39	0,004	0,004
По потерям мощности до тяговых шин подстанции	ЭЧ-2	365,4	267,7	314,2	260,6	306	324,4	327,6
	ЭЧ-1	38,9	38,7	52,3	40,3	37,3	51	49,3
По потерям мощности в конденсаторах УК	ЭЧ-2	1,12	3,61	1,4	3,15	4,77	1,45	2,49
	ЭЧ-1	2,42	2,43	0,02	2,24	2,4	0,024	0,024
По потерям мощности в реакторах УК	ЭЧ-2	1,05	3,24	1,25	2,73	4,6	1,27	2,32
	ЭЧ-1	2,04	2,04	0,02	2,04	2,04	0,02	0,02
По потерям напряжения до тяговых шин подстанции	ЭЧ-2	-18,8	-33,6	-34,4	-30,4	-34,7	-17	-16,7
	ЭЧ-1	-1,94	-1,93	-0,77	-1,95	-1,93	-0,78	-0,78
По потерям мощности от уравнительных токов	ЭЧ-2	8,96	12,84	4,48	15,52	18,2	18,3	20,4
	ЭЧ-1	10,25	12,2	7,82	15,05	10,2	15,85	14,05
Суммарные приведенные годовые расходы	ЭЧ-2	361,5	264,9	291,2	261	315,4	332,7	344,3
	ЭЧ-1	58,2	60,1	59,5	64,5	56,6	66,2	62,7

НТБ
ДНУЖТ

нения подстанций с помощью ЭМ, позволяющие определять для всех вариантов:

- а/ потери мощности, вызываемые ТОП в питающей сети,
- б/ потери напряжений до тяговых шин подстанций и потери мощности от уравнительных токов,
- в/ потери мощности в питающей сети как при отсутствии УК, так и с учетом их применения на отстающей фазе подстанций.

2. Выполнены экспериментальные исследования, которые позволили установить корректность приведенной методики и показали, что схема присоединения подстанций оказывает существенное влияние на показатели качества энергии на тяговых подстанциях электрифицированных на переменном токе железных дорог. В частности от варианта этой схемы зависит:

- а/ до 70% потерь энергии, обусловленных ТОП,
- б/ до 50% потерь напряжения до тяговых шин подстанций и 60% потерь энергии от уравнительных токов.
- в/ до 30% суммарных потерь мощности в питающей сети с учетом применения УК на подстанциях,
- г/ как величина установленной мощности, так и целесообразность применения УК на отдельных подстанциях,
- д/ с учетом эффективности компенсации реактивной мощности до 20% суммарных приведенных годовых расходов.

3. Конкретные расчеты показали, что циклическая схема присоединения подстанций не всегда экономически оправдана. При использовании более рациональных схем фазировки, а также учитывая эффективность компенсации реактивной мощности для каждой из этих схем, можно достичь уменьшения суммарных приведенных годовых расходов на 10%.

4. Схема присоединения подстанций к питающей сети должна быть предметом выбора по технико-экономическим показателям в ка-

НТБ
ДНУЖТ

дом конкретном случае.

5. Предложенная методика выбора варианта схем присоединения подстанций может найти применение как для эксплуатируемых электрифицированных на переменном токе участков железных дорог, так и при проектировании вновь электрифицируемых линий совместно с методикой расчета системы электроснабжения железных дорог переменного тока, разрабатываемой МИИТ'ом, ВЗИИТ'ом и другими институтами.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Комлык В.И. "Контроль несимметрии токов и напряжений в системе тягового электроснабжения и пути ее снижения". Выпуск ЦНИИТЭИ. Серия "Электрификация и энергетическое хозяйство", № 51, 1970.
2. Комлык В.И., Дьяконенко А.Н. "Определение оптимальных уставов устройств регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой при электротяге переменного тока". Выпуск ЦНИИТЭИ. Серия "Электрификация и энергетическое хозяйство", № 51, 1970.
3. Комлык В.И. "Рациональное использование электрической энергии". Информационные материалы центра научно-технической информации и пропаганды Юго-Западной ж.д. 1968.
4. Комлык В.И. "Выбор схемы присоединения тяговых подстанций к линиям внешнего электроснабжения с помощью ЭВМ". Информационные материалы центра научно-технической информации и пропаганды Юго-Западной ж.д. 1973.
5. Комлык В.И. "Определение величины уравнительных токов в тяговой сети переменного тока". Аннотация. Выпуск ЦНИИТЭИ. Серия "Электрификация и энергетическое хозяйство", № 63, 1971.

НТБ
ДНУЖТ

6. Комлык В.И. "Определение максимальных величин несимметрии токов и напряжений в устройствах электроснабжения ж.д. электрифицированных на переменном токе". Аннотация. Выпуск ЦНИИТЭИ. Серия "Электрификация и энергетическое хозяйство", № 63, 1971.

Результаты работы докладывались и обсуждались:

1. На XXXVI научно-технической конференции Ростовского на Дону института инженеров жел.дор. транспорта. Ростов-на-Дону, 1968.
2. На расширенном заседании научного семинара кафедр электроподвижного состава и электрических машин и преобразователей, Днепропетровск, ДИИТ, 1969.
3. На XXXVII научно-технической конференции кафедр Ростовского-на-Дону института инженеров жел.дор. транспорта с участием инженерно-технических работников Северо-Кавказской ж.д., Ростовского электровозоремонтного завода им. В.И.Ленина и других предприятий промышленности и транспорта, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина. Ростов-на-Дону, 1969.
4. На техническом совете службы электрификации и энергетического хозяйства Юго-Западной ордена Ленина железной дороги, Киев, 1970, 1974.
5. На научно-технической конференции, посвященной 40-летию первого выпуска ДИИТ'а. Днепропетровск, 1974.

НТБ
ДНУЖТ

БФ 26957 П-УІ-74
Объём 2 п.л. Формат 60х84 1/16
Тираж 200 экз. Заказ .4.3034.
Подписано к печати .11.6.74.

Киевская книжная типография
научной книги
Киев, Грешная, 4

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ