

На правах рукописи

Инженер БОНДАРЕНКО Б. Р.

**Исследование, разработка
и технико-экономическое
обоснование типового ряда
промышленных электровозов**

Специальность № 05.433 — Подвижной состав
и тяга поездов

404401

Автореферат
диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК — 1970

НТБ
ДНУЖТ

581 Бригаден Б.Р.

тисел. разраб.

Продолить 90
20. V 722

НТБ
ДНУЖТ

На правах рукописи

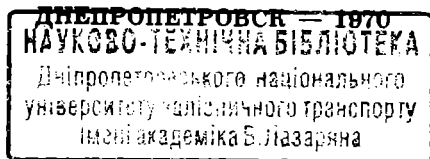
Инженер БОНДАРЕНКО Б. Р.

**Исследование, разработка
и технико-экономическое
обоснование типового ряда
промышленных электровозов**

Специальность № 05.433 — Подвижной состав
и тяга поездов

Автореферат

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук



НТБ
ДНУЖТ

404449

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте электровозостроения.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор **И. П. Исаев.**

Кандидат технических наук **М. Г. Потапов.**

Ведущие предприятия: Новочеркасский электровозостроительный завод и Днепропетровский электровозостроительный завод.

Автореферат разослан „ 15 “ мая 1970 г

Защита диссертации состоится „ 6 “ июне 1970 г

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета кандидат технических наук, доцент **Б. М. Климовский.**

НТБ
ДНУЖТ

ВВЕДЕНИЕ

Решениями XXIII съезда КПСС намечена широкая программа развития народного хозяйства нашей страны. Общий объем промышленного производства только за текущее пятилетие возрастет на 47—50%. Важное значение для развития народного хозяйства приобретает интенсивное увеличение добычи полезных ископаемых. Можно предположить, что в ближайшие 10—15 лет потребуется в 3—4 раза увеличить общую добычу полезных ископаемых.

Железнодорожный транспорт, как самый дешевый и регулярно действующий в различных климатических условиях из всех видов транспорта, играет важнейшую роль в решении народно-хозяйственных задач страны. По своему назначению и сферам эксплуатации он подразделяется на три основные части: магистральный, промышленный и рудничный.

Рассматривая раздельно техническое состояние указанных видов железнодорожного транспорта, можно установить, что их технический уровень и темпы развития не одинаковы. Технический уровень промышленного железнодорожного транспорта значительно отстает от уровня развития магистрального и рудничного и от требований, предъявляемых важнейшими отраслями промышленности.

Чрезвычайно разнообразные условия эксплуатации, наличие многочисленных и различных по характеру производства промышленных предприятий, большого количества ведущих и специализированных научно-исследовательских и проектных организаций по промышленному транспорту требуют четкой координации научно-исследовательских и проектных работ, разработки общей основы для широкой электрификации промышленного железнодорожного транспорта и повышения на этой базе его технического уровня.

Проблемам развития промышленного транспорта посвящен ряд научных работ А. О. Сливаковского, С. А. Волотковского, М. В. Васильева, В. Е. Розенфельда, Е. Ф. Шешко, Е. А. Ашкенази, Е. А. Хохлова, М. Г. Потапова, М. Л. Забелло, А. М.

Баранова, М. Н. Зайчик, Л. В. Изволенского, А. Н. Шухова и других авторов.

В предшествующие годы разрабатывались предложения по типовым рядам и типажам промышленных электровозов. Однако, вследствие недостаточных технико-экономических обоснований и всестороннего учета современных достижений науки и техники, уровня развития производственно-технической базы электровозостроительных заводов, перспективных условий и требований эксплуатации, указанные разработки не нашли широкого практического применения.

Целью реферируемой диссертационной работы является:

1. Исследование и анализ различных условий эксплуатации, технического состояния и перспектив развития промышленного железнодорожного транспорта.

2. Разработка общей методики создания типового ряда промышленных электровозов.

3. Установление основных технических направлений в создании новых типов промышленных электровозов.

4. Разработка и технико-экономическое обоснование на основе предложенной общей методики типажа промышленных электровозов.

5. Установление основных технических направлений в создании новых типов промышленных электровозов.

Работа состоит из четырех глав и заключения, краткое содержание которых приведено ниже.

1. ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

За годы семилетки и текущей пятилетки осуществлен ряд мероприятий по повышению технического уровня промышленного ж. д. транспорта. Он оснащался электровозами, тепловозами, новыми специальными вагонами большой емкости и грузоподъемности.

Однако, сравнительная характеристика технического состояния магистрального и промышленного ж. д. транспорта наглядно показывает, что технический уровень последнего значительно отстает от уровня развития магистрального ж. д. транспорта и требований важнейших отраслей промышленности.

К концу 1969 года протяженность магистральных железных дорог, переведенных на электровозную и тепловозную тягу, составила более 105 тыс. км. Новыми видами тяги в 1969 г. выполнено около 96% общего грузооборота.

Грузооборот промышленного железнодорожного транспорта в 1969 г. достиг 8 млрд. т., что в 2,5 — 3 раза превышает грузооборот магистрального ж. д. транспорта. Новыми видами тяги на промышленном ж. д. транспорте выполняется только около 36% общего грузооборота, а 64% — малоэкономичной паровозной тягой.

Промышленный железнодорожный транспорт имеет широкую сферу деятельности в важнейших отраслях народного хозяйства и имеет наибольший удельный вес в грузообороте по сравнению с другими видами транспорта.

Экономически целесообразно в ближайшие годы довести удельный вес электрической тяги в грузообороте промышленных железных дорог до 50%. Задача, осуществить в 1980 г. весь объем перевозок на промышленном ж. д. транспорте новыми видами тяги (электрической 50% и тепловозной 50%) потребует изготовить в 1971—80 гг. по ориентировочному расчету около 4500 промышленных электровозов.

Существующие объемы и темпы выпуска промышленных электровозов не могут обеспечить решение задачи технического перевооружения промышленного ж. д. транспорта в ближайшие годы.

Исследование и анализ научных работ советских и зарубежных авторов и практически достигнутых результатов в развитии промышленного железнодорожного транспорта, показывает высокие темпы технического прогресса в локомотивостроении. Для обеспечения высокой производительности транспортных перевозок значительно возросли сцепной вес, мощность и скорость движения электровозов.

В конструкцию промышленных электровозов внедряются новейшие достижения науки и техники. В настоящее время находят широкое применение мощные управляемые полупроводниковые вентили, новые изоляционные материалы, электротехническая сталь с высокой магнитной проницаемостью и др. В ряде случаев применяются схемы с бестоковой коммутацией и бесконтактными элементами, системы автоматики, радио и телеуправления. На электровозах устанавливаются источники автономного питания, а для увеличения силы тяги в локомотив включаются моторные думпкары.

Наряду с развитием ж. д. транспорта быстрыми темпами развиваются автомобильный, конвейерный, канатно-подвесной, гидравлический, пневматический и другие виды промышленного транспорта.

Расчеты показывают, что наибольшая эффективность транспортирования достигается при работе железнодорожного транспорта в комбинации с автомобильным, конвейерным и канатно-подвесным. Это предъявляет к промышленным электровозам особые дополнительные требования. Они должны обеспечивать тесное взаимодействие в работе с погрузочными средствами и другими видами транспорта, участвовать в выполнении технологических процессов производства различных промышленных предприятий.

Изложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Железнодорожный транспорт является основным видом транспорта в выполнении грузооборота промышленных предприятий. Его доминирующая роль сохранится и в будущее время при широком развитии автомобильного, конвейерного, канатно-подвесного и других видов транспорта, как самого экономичного, регулярно работающего в различных климатических условиях.

2. Технический уровень промышленного ж. д. транспорта в настоящее время значительно отстает от требований важнейших отраслей промышленности и, в особенности, от технического уровня магистрального железнодорожного транспорта.

3. Для повышения технического уровня промышленного ж. д. транспорта и обеспечения 90—95% объема грузооборота новыми видами тяги (электровозной и тепловозной) требуется по ориентировочному расчету изготовить в ближайшие 10 лет 4,5 тысячи промышленных электровозов.

4. Условия работы и технические требования к промышленным электровозам весьма различны. Учитывая большую потребность их, многочисленное количество заказчиков, проектных организаций, является необходимым создание типового оптимального ряда промышленных электровозов, максимально удовлетворяющего различные условия и требования эксплуатации.

2. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ РЯДОВ, ХАРАКТЕРНЫЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ТИПОВОМУ РЯДУ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Конечным результатом разработки оптимальных рядов изделий является таблица, элементы которой могут быть представлены значениями некоторых переменных. Поэтому задача обоснования размерного ряда типовых изделий при строгой ее формулировке сводится к задаче поиска в пространстве пара-

метров таблицы такого сочетания их значений, которое давало бы оптимум функции качества. При этом в роли функции качества надо принимать общегосударственные расходы на создание единицы продукции.

Методика выполнения работы в указанной строгой постановке содержит следующие основные этапы:

1. Построение пространства параметров.
2. Построение системы ограничений.
3. Построение функции качества.
4. Поиск экстремумов функции качества и анализ результатов этого поиска с учетом граничных значений.
5. Составление таблицы результатов.

Рабочей методики для выполнения указанных работ нет, а создание ее требует весьма больших затрат труда и времени. Авторы Ю. В. Чуев, У. Черчмен и другие считают, что методологической основой выбора оптимальных рядов изделий должны служить методы науки «Исследование операции». Однако, в работах приводятся примеры выбора оптимальных рядов изделий только с одним или двумя переменными параметрами.

При заданных функциях:

$g(x)$ — функция стоимости производства единичного изделия;

$g_1(x)$ — функция стоимости разработки нового образца;

$g_2(x)$ — стоимость эксплуатации образца в единицу времени,

интегральная функция потребности в изделиях, имеющих аргумент x , в общем виде имеет выражение

$$F(x) = \int_0^x \varphi(x) dx,$$

где $\varphi(x)$ — дифференциальная функция потребности.

Для нахождения оптимального количества типов изделий N и значения их аргументов X , необходимо получить минимальные суммарные затраты S^*_N .

При одномерной задаче суммарные затраты определяются следующим выражением:

$$S^*_N = \sum_{k=0}^N [F(x_{k+1}) - F(x_k)] \cdot g(x_{k+1}) + \sum_{k=0}^N g_1(x_{k+1}) + \\ + \int_0^T \sum_{k=0}^N [F(x_{k+1}) - F(x_k)] \times g_2(x_{k+1}) dt.$$

T — рассматриваемый период времени.

ν — показатель степени увеличения затрат на производство партии от числа произведенных изделий.

Требуется определить такой набор X_k , включая и их число N , чтобы минимизировать S^*_{ν} . В случае двумерных задач надо выбирать пары величин x_k ; y_k включая и N .

Математическое решение многомерных задач с применением ЭВМ из-за больших затрат машинного времени является практически не выполнимым. Кроме этого, приведенные и аналогичные математические методы решения задач выбора оптимальных рядов изделий в общем случае основываются на имеющихся исходных данных, не учитывают возможных изменений параметров ряда по анализу конечных результатов в их конкретном применении. Практическое построение типового ряда конкретных изделий требует исследования и обоснования более широкого, систематизированного комплекса вопросов, охватывающих сферу производства и эксплуатации изделия, в заданный период времени.

Учитывая эти особенности, построение типового ряда промышленных электровозов производилось на основе изучения условий (в том числе и перспективных) работы промышленного транспорта и требований, предъявляемых к локомотивам организациями, эксплуатирующими их. Одновременно решалась задача наилучшим образом удовлетворить потребность промышленности в локомотивах при наименьшем общем количестве их типов и наименьших различиях между типами. Критерии качества параметров типового ряда электровозов определялись инженерными и экономическими расчетами.

Предложенная общая методика разработки типового ряда электровозов включает в себя пять взаимосвязанных этапов.

1. Исследование и анализ различных условий эксплуатации отечественного и зарубежного промышленного ж. д. транспорта. Выбор исходных данных и критериев качества для технико-экономических расчетов.

2. Определение основных требований к типовому ряду промышленных электровозов.

3. Определение и техническое обоснование параметров типового ряда электровозов.

4. Экономическое обоснование параметров и типов промышленных электровозов для различных сфер эксплуатации.

НТБ
ДНУЖТ

5. Оформление результатов расчетов и технико-экономических обоснований в таблицу параметров типового ряда промышленных электровозов.

Каждый этап методики включает в себя ряд вопросов, решение которых обеспечивает создание оптимального типового ряда промышленных электровозов.

Работу промышленного ж. д. транспорта можно подразделить на следующие характерные виды:

1. Поездная. 2. Маневровая. 3. Смешанная — поездная и маневровая. 4. Работа на открытых карьерах. 5. Работа на внутризаводских путях. 6. Работа на лесо-торфоразработках. 7. Специальная (технологическая) работа.

Поездная работа локомотивов заключается в перевозке организованных поездов на значительные расстояния между конечными пунктами. Поездной характер работы обуславливает высокие сцепной вес и мощность локомотивов, приближающихся по своим параметрам к магистральным.

Маневровая работа локомотивов на промышленных предприятиях весьма близка к маневровой работе на станциях магистральных железных дорог. Она заключается в сортировке, группировании и переформировании поездов, подаче вагонов и составов к складам и перегрузочным пунктам. Маневровая работа требует мощных локомотивов обеспечивающих легкое реверсирование движения, плавное трогание с места и быстрый разгон. Маневровые локомотивы должны допускать значительные перегрузки тяговых двигателей.

Поездной и маневровой виды работы являются общими для всех отраслей промышленности. Для предприятий средней мощности поездная и маневровая работа локомотивов обычно совмещается.

При смешанной работе тип локомотива определяется величиной тех подач, которые необходимо выполнить предприятиям и профилем подъездных путей.

В проектах карьеров предусматривается годовой грузооборот по горной массе до 100 млн. т. Отдельные карьеры в перспективе будут иметь грузооборот до 300 млн. т. Одновременно увеличивается глубина карьеров. В перспективе она будет достигать 700 м, при этом крутизна подъемов вывозных траншей будет составлять 60—80 тысячных.

Величина грузооборота, глубина карьера и крутизна подъема вывозных траншей являются основными исходными данными для выбора типа локомотива.

Уклоны внутризаводских железнодорожных путей находятся в пределах от 2,5 до 20 тысячных, а в отдельных случаях при трудных горно-геологических условиях достигают 40 тысячных.

Объемы перевозок внутризаводского транспорта колеблются от 0,5 млн. т до 80 млн т в год. Характерным условием эксплуатации на лесо-торфовозных железных дорогах является заход локомотивов по временным (передвижным) путям к месту лесных и торфяных разработок. Временные пути в районе разработок разветвляются по нескольким направлениям. Длина их колеблется в пределах 3—8 км. Основной вывозной путь достигает длины 100 км. Допустимое давление оси на рельсы 5—6,5 т. Наличие временных путей определяет в основном конструкцию электровоза.

Характерные виды работ и условия эксплуатации на промышленном ж. д. транспорте обусловили подразделение электровозов на карьерные, маневровые, электровозы для внутризаводского транспорта и обслуживания подъездных путей, для лесо-торфоразработок и электровозы специальные.

Указанные группы электровозов по техническим характеристикам и конструктивному исполнению имеют много общего, но в то же время отвечают характерным условиям эксплуатации различных промышленных предприятий. На основании исследования и анализа различных условий работы промышленного железнодорожного транспорта, подробно изложенных в диссертации, установлены общие, перспективные, характерные для промышленного ж. д. транспорта условия эксплуатации и граничные показатели этих условий, учитывающие развитие промышленных предприятий в ближайшие годы. К таким условиям относятся:

1. Рост грузооборота промышленных предприятий. Годовой грузооборот колеблется от 5 до 100 млн. т. На отдельных предприятиях грузооборот достигает в перспективе 300 млн. т в год.

2. Увеличение уклонов железных дорог до 60—80 тысячных на карьерном транспорте и до 40 тысячных на внутризаводских, подъездных, лесо-торфовозных железных дорогах.

3. Увеличение протяженности рейсов перевозки до 100 км в один конец,

4. Рациональной весовой нормой состава по погрузочным средствам в настоящее время является для:

узкоколейных железных дорог	— 300—400 т,
внутризаводского транспорта	— 650—900 т,
карьерного транспорта и перевозочной работы	— 900—1300 т.

В перспективе следует ожидать увеличение грузоподъемности состава поезда до 2500 т, и в ряде случаев до 10 тыс. т.

5. Наличие временных, передвижных участков пути, погрузочно-разгрузочных фронтов работы и стационарных устройств, где электрификация путей невозможна или экономически не оправдана.

6. Среднечасовые скорости локомотивов ограничиваются большими уклонами путей, кривыми малого радиуса, наличием временных (передвижных) участков, горно-геологическими и топографическими условиями местности, по которым проходят дороги и не имеют тенденции к значительному увеличению.

7. Необходимость обеспечения тесной связи подвижного состава с погрузочно-разгрузочными средствами и технологическими процессами производства промышленных предприятий.

Указанные характерные условия эксплуатации обусловили основные требования к типовому ряду промышленных электропоездов. Электропоезда этого ряда должны:

иметь высокие тяговые свойства и обеспечивать повышение провозной способности железных дорог;

свободно проходить пути с кривыми малого радиуса;

для движения на неэлектрифицированных участках оборудоваться источником автономного питания;

иметь эффективные тормозные средства для обеспечения безопасности движения на дорогах с большими уклонами;

для повышения производительности погрузочно-разгрузочных операций иметь устройства, обеспечивающие медленную скорость движения, дистанционное управление движением с поста погрузки и управление разгрузкой вагонов состава из кабины машиниста.

Типовой ряд промышленных электропоездов объединяется общей конструкторско-технологической идеей, обеспечивающей высокую степень унификации узлов и оборудования электропоездов. Здесь должны применяться новейшие достижения электротехники, электроники, автоматики, в том числе мощные полупроводниковые выпрямители, схемы с бестоковой комму-

тацией и бесконтактными элементами, системы автоматики, радио и телеуправления.

Надежность работы электровозов типового ряда должна соответствовать достигнутому уровню надежности лучших образцов отечественных и зарубежных электровозов.

3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТИПОВОГО РЯДА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Основными параметрами, определяющими техническую характеристику и свойства электровозов являются:

1. Сцепной вес. 2. Осевая формула. 3. Нагрузка от оси на рельсы. 4. Мощность в часовом режиме работы. 5. Сила тяги. 6. Скорость конструкционная и часового режима работы. 7. Вид источника автономного питания. 8. Мощность источника автономного питания. 9. Сила тяги в режиме автономного питания. 10. Скорость в автономном режиме работы. 11. Вид и эффективность тормозных средств. 12. Род тока и величина напряжения контактной сети. 13. Ширина колеи. 14. Минимальный радиус кривой пути. 15. Стоимость электровоза.

Определению указанных параметров, оценки их важности и взаимодействия посвящена третья глава диссертации.

Выбор значений и качества параметров типового ряда электровозов производился в соответствии с разработанной методикой на основе исследования и анализа статистических данных опыта эксплуатации, производства различных серий локомотивов и математического расчета отдельных параметров в диапазоне граничных данных перспективных условий эксплуатации.

Критерием качества определяемых параметров является получение высокой производительности при минимальной себестоимости транспортных перевозок.

Общая производительность железнодорожного транспорта может быть представлена выражением

$$P_{\text{общ}} = Q_{\text{п}} \cdot \Pi \cdot n, \text{ тонн в ед. времени.}$$

где $Q_{\text{п}}$ — полезный вес одного поезда;
 Π — количество циклов перевозки груза в единицу времени;
 n — количество поездов, участвующих в перевозке грузов.

Важным фактором в повышении производительности ж. д. транспорта является увеличение общего веса поезда. Перспективные возможности увеличения веса поезда заключаются в

НТБ
ДНУЖТ

применении вагонов большего объема и мощных электровозов с соответствующим сцепным весом.

Расчетная величина сцепного веса электровоза зависит от веса состава и профиля пути и определяется из основного уравнения движения поезда

$$\frac{dV}{dt} = \xi \left(\frac{F_p}{P + Q} - \frac{w_o'P + w_o''Q}{P + Q} - i_p \right)$$

Заменив в уравнении F_p и сделав преобразования, получим выражение для определения расчетного сцепного веса электровозов

$$P = \frac{[w_o'' + i_p + a \cdot 102 \xi_o]Q}{1000\phi_p - w_o' - i_p - a \cdot 102 \xi_{s,1}}$$

Для решения задачи определены основные факторы, от которых зависят величины, входящие в это выражение.

Расчет сцепного веса производился для пространства параметров, ограниченных значениями: уклонов $0 \div 80$ тысячных, весов поезда $0 \div 2500$ т.

Полученные значения сцепных весов в пространстве координат имеют некоторую периодическую функцию с несколькими явно выраженными минимумами и несколькими максимумами.

Первые определяют относительно меньшую необходимость в данных сцепных весах, а вторые определяют те сцепные веса, которые являются наиболее вероятными.

Графическое изображение относительной необходимости $P_{сц}$ от Q_r , i_p показано на рис. 1, 2.

В результате проведенных расчетов получена шкала сцепных весов для типового ряда промышленных электровозов: для нормальной колеи — 80, 100, 120, 150, 180, 240, 360, 480 т.

для узкой колеи — 26, 30, 40, 60 т.

Зависимости сцепного веса электровозов от величины уклона пути и веса состава представлены в диссертации графически. На основании расчетов установлены области работы электровозов с рациональными весами поездов в границах допустимых уклонов.

Выбор размера колеи, минимальных радиусов кривых, допустимых величин давления оси на рельсы, максимальной скорости движения производился на основании действующих пра-

вил технической эксплуатации и правил проектирования промышленных железных дорог различного назначения.

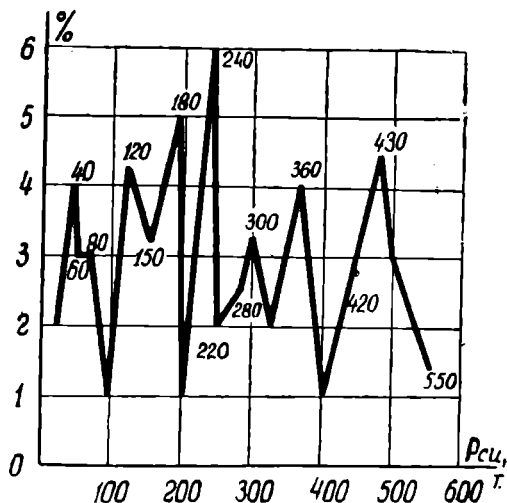


Рис. 1. Графическое изображение относительной необходимости $P_{си}$ для нормальной колеи при $Q_T=500\div 2500$ т. и $i_p=0\div 80$ тысячных.

Изменение установленных правилами проектирования и стандартами значений указанных параметров потребует больших капитальных затрат на реконструкцию путевого хозяйства промышленного ж. д. транспорта страны и в ближайшее перспективное время не намечается. Тяговые параметры типового ряда промышленных электровозов получены расчетом для ряда сцепных весов и установленных расчетных скоростей движения. По данным расчетов построена номограмма для определения мощности тягового двигателя, мощности и силы тяги электровозов в зависимости от расчетной скорости, сцепного веса оси и количества осей в локомотиве.

Данные зависимости показывают, что для различных условий эксплуатации мощности электровозов типового ряда изменяются в пределах:

карьерях от 1120 до 6850 кВт,
внутризаводских от 500 до 1750 кВт,
узкоколейных от 210 до 630 кВт.

Проведенные расчеты эффективности тормозных средств для карьерного ж. д. транспорта показали, что безопасное движение поездов, оборудованных только пневматическими тормозами, с рациональными весами поездов и допустимыми скоростями движения — $25 \div 30$ км/ч возможно на спусках: в порожнем режиме до 50 тысячных, в груженом режиме до 40 тысячных.

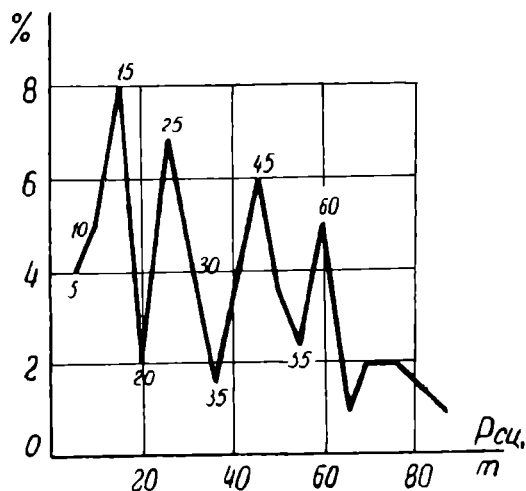


Рис. 2. Графическое изображение относительной необходимости $P_{сн}$ для колеи 750 мм при $Q_r = 200 \div 600$ т. и $i_p = 0 \div 40$ тысячных.

Для движения поездов на путях с уклонами $60 \div 80$ тысячных необходимо применение комбинированных пневматических, электрических и магнитнорельсовых тормозов.

Для повышения надежности тормозных средств требуется применение устройства, обеспечивающего контроль и регулирование скорости движения поезда в соответствии с заданными ограничениями.

В качестве источника автономного питания на промышленном ж. д. транспорте применяются как аккумуляторные батареи, так и дизель-генераторные установки.

На основании технико-экономических сравнений и опыта эксплуатации установлено, что лучшими аккумуляторами для

тяговых нужд являются щелочные железо-никелевые, которые при большем в 3 раза сроке службы имеют меньшую удельную стоимость по сравнению со свинцовыми.

Для тяговой аккумуляторной батареи выбраны аккумуляторы типа ТЖНТ-400 и ТЖНТ-600. Для установленных общих условий эксплуатации промышленного ж. д. транспорта произведены расчеты расхода энергии аккумуляторной батареи в автономном режиме работы электровозов.

Энергоемкость батареи в зависимости от веса поезда, величины уклона и длины неэлектрифицированного участка пути рассчитана по формуле

$$\mathcal{E}_p = \frac{Q_r(i_g + W_{or})L_n + Q_n(i_g + W_{on})L_n}{0,367 \cdot \eta_{изп}} + 0,04(Q_r + Q_n)$$

Величина энергии, которую необходимо пополнить во время движения электровоза под контактной сетью определялась по формуле

$$\mathcal{E}_s = \frac{L_s \cdot J_s \cdot U_c \cdot \eta_c}{1000 V_s} \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Мощность дизель-генераторной установки для типового ряда промышленных электровозов определена в зависимости от скорости движения по неэлектрифицированным путям, веса груженого поезда и величины уклона.

Выражение для определения мощности дизеля имеет вид

$$P_{мгз} = \frac{Q_r(W'_o + i_g) V_a}{270 \cdot \eta_r \cdot \eta_{изп} \cdot \eta_{дл}} \text{ Л. С.}$$

Зависимости энергоемкости аккумуляторной батареи и мощности дизель-генераторной установки от веса поезда, скорости в контактном и автономном режиме работы, величины уклона представлены в диссертации графически и номограммами.

В основу построения типового ряда промышленных электровозов положены следующие общие принципиальные конструкторско-технологические идеи.

1. Ходовая часть всех типов электровозов строится на базе двухосных тележек. Трехосные тележки применяются только при невозможности использования для получения требуемых характеристик двухосных тележек в экипажной части новых видов локомотивов.

2. Экипажные части новых локомотивов, имеющих большой (180, 240, 360 т.) сцепной вес и автономный источник питания, строятся секционными.

3. Исполнение секций должно обеспечивать, как их самостоятельную работу, так и работу в различных сочетаниях.

4. Секции с источником автономного питания могут быть выполнены как на моторных тележках, так и не моторных.

5. Создаваемые новые промышленные электровозы должны иметь высокую степень унификации электрических машин, аппаратов, узлов механической части в типовом ряде и с магистральными локомотивами.

6. Промышленные электровозы типового ряда должны обеспечивать возможность широкого применения средств автоматики для управления движением поезда и совместной работы с погрузочно-разгрузочными машинами и устройствами.

7. Промышленные электровозы типового ряда должны иметь возможность работы по системе многих единиц и совместно с моторными думпкарами, применяемыми в качестве тяговой секции локомотива.

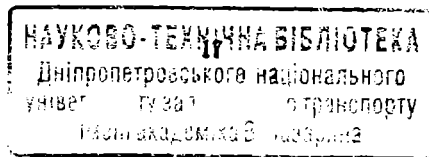
Проведенные в третьей главе исследования, анализ и математические расчеты позволили определить значения основных технических параметров и сформулировать общие конструкторско-технологические идеи построения типового ряда промышленных электровозов.

Определенные значения параметров электровозов дают возможность в максимальной степени удовлетворить требования настоящих и перспективных условий эксплуатации железнодорожного транспорта различных отраслей промышленности.

4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ТИПОВОГО РЯДА

На основании анализа методик технико-экономических сравнений и обоснований целесообразных сфер применения различных видов тяги и типов локомотивов, а также учитывая изменения требований эксплуатации, связанных с перспективным развитием промышленных предприятий и повышением их грузооборота принята следующая методика экономического обоснования параметров типового ряда промышленных электровозов:

1. Учитываются граничные показатели работы промышленных предприятий и обслуживаемого их железнодорожного транспорта.



НТБ
ДНУЖТ

40442

2. Исходные данные для расчетов различных вариантов работы электровозов принимаются в следующих диапазонах и градациях:

а) годовой грузооборот предприятий: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 млн. т груза;

б) руководящие подъемы железных дорог: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 тысячных;

в) протяженность одного рейса (полуреиса): 2, 3, 5, 7,5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 80 км.

3. Определяется расчетная стоимость электровозов типового ряда.

4. Расчетным путем определяется эффективность транспортных перевозок различными типами электровозов для принятых условий эксплуатации во всем диапазоне и градациях исходных данных.

5. На основе анализа экономических расчетов устанавливаются целесообразные сферы применения различных типов промышленных электровозов.

В работе произведен анализ себестоимости магистральных и промышленных электровозов, изготовленных на НЭВЗ с 1947 по 1968 гг.

В результате анализа установлена закономерность снижения себестоимости изготовления электровозов от года выпуска и величины выпускаемой партии.

Указанная зависимость графически представлена на рис. 3. Математическое выражение зависимости имеет вид

$$C = \frac{42}{n} + 58,$$

где C — себестоимость в процентном отношении к стоимости опытной партии;

n — год производства.

Изменение себестоимости изготовления новых типов электровозов по приведенной зависимости, как показал опыт эксплуатации, обеспечивает наибольшую эффективность электрической тяги по сравнению с другими видами.

Определение действительной стоимости локомотивов будущего периода производства является весьма сложной задачей, имеющей большое количество неопределенных факторов.

Для экономического сравнения в работе определена расчетная стоимость электровозов по единой методике для всех типов.

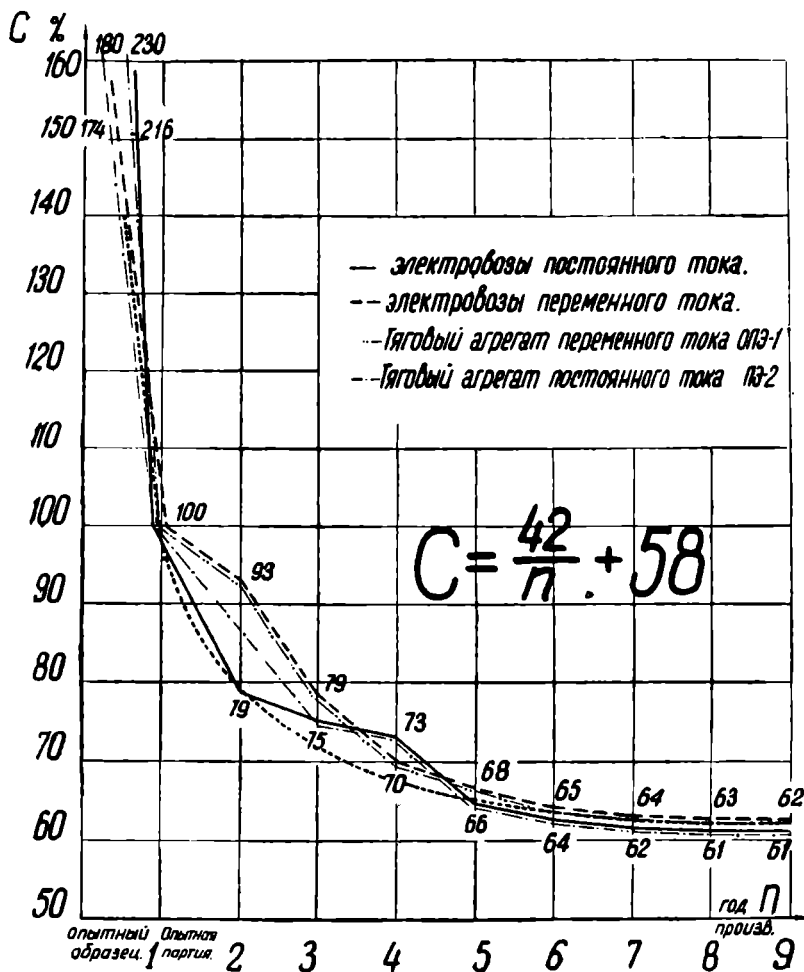


Рис. 3. Себестоимость изготовления электровозов в зависимости от года производства (в % от себестоимости опытной партии).

Основываясь на формуле Видмара, определяющей стоимость оборудования в зависимости от установленной на нем мощности, а также учитывая закономерность изменения себестоимости в зависимости от года производства, в работе выведены формулы для определения расчетной стоимости электровозов. Для электровозов переменного и постоянного тока она имеет выражение:

$$C_{пер} = \sqrt[3]{N_s^2} (a \cdot \sqrt[3]{n} + b) + m, \text{ руб.}$$

$$C_{пост} = \sqrt[3]{N_s^2} (a_1 \sqrt[3]{n} + b_1) + m, \text{ руб.}$$

N_s — мощность электровоза, кВт,

n — число осей электровоза,

$a; b; m; a_1; b_1$ — постоянные коэффициенты.

Сравнение расчетных стоимостей, определенных по приведенным формулам, с фактическими ценами выпускаемых электровозов, показывает их более близкое совпадение, чем стоимости, определенные по формулам других авторов.

Полученные расчетные стоимости электровозов типового ряда позволили выполнить сравнительные расчеты экономической эффективности применения электровозов типового ряда.

1. Вариантные экономические расчеты подтверждают, что параметры типового ряда электровозов обеспечивают эффективность транспортных перевозок в различных сферах эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта.

2. По минимальным транспортным расходам можно установить следующие области работы электровозов различного сцепного веса:

Таблица 1.

Сцепной вес электровоза, т	Величина руковод. подъема, тысячные	Длина откатки или рейса, км
120	8—15	до 10
180	15—25	до 10
240	20—35	10÷15
360	30—50	15÷20

НТБ
ДНУЖТ

3. Во всех случаях работы подвижного состава, при уклонах пути 15 тысячных и более, экономически выгодно применять моторные думпкары вместо двойной тяги локомотивов. С увеличением уклона и грузоподъемности моторного думпкара эффективность его применения возрастает.

4. Применение источника автономного питания экономически целесообразно (при существующих стоимостях дизель-генераторов и аккумуляторов), если его мощность (энергоемкость) составляет 0,2—0,3 касательной мощности электровоза.

5. Эффективность применения электровозов постоянного и переменного тока зависит, главным образом, от их стоимости и расхода электроэнергии на выполняемую работу

Отклонения стоимости вновь разрабатываемых и изготавливаемых электровозов от расчетной в сторону увеличения снижает эффективность применения электрической тяги на промышленном железнодорожном транспорте.

Уточненные технико-экономическими расчетами параметры типового ряда электровозов сведены в таблицу 2, которая явилась основой типажа промышленных электровозов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЫ

1. На основе всестороннего анализа технического состояния промышленного железнодорожного транспорта установлено отставание его развития в сравнении с другими видами транспорта и сформулированы основные направления его перспективного развития на базе широкой электрификации железных дорог и внедрения новых видов тяги. Для повышения удельного веса новых видов тяги в общем грузообороте промышленных железных дорог до 90—95%, ориентировочно определена потребность электровозов.

2. Исследованы различные условия эксплуатации, в том числе и перспективные, и выделены общие, характерные для различных сфер работы промышленного железнодорожного транспорта. Систематизированы разнообразные и многочисленные требования, предъявляемые заказчиками и к промышленным локомотивам и сформулированы общие, учитывающие перспективное развитие промышленных предприятий. Для удовлетворения предъявляемых требований и различных условий эксплуатации обоснована необходимость разработки типового ряда промышленных электровозов.

3. Дана общая методика разработки и технико-экономического обоснования типового ряда промышленных электрово-

зов. Предложенная методика может быть использована для разработки типовых рядов других изделий аналогичного характера.

4. На основании методов математического анализа, исследования операций и теории вероятности произведено определение основных параметров типового ряда промышленных электровозов.

Предложены номограммы для графического определения мощности и энергоемкости источника автономного питания в зависимости от веса поезда, скорости движения и величины уклона железных дорог.

Для сравнительных экономических расчетов найдено аналитическое выражение зависимости себестоимости электровозов от года выпуска и величины выпускаемой партии.

Даны формулы для определения расчетной стоимости электровозов.

5. Предложены и обоснованы общие конструкторско-технологические идеи построения типового ряда промышленных электровозов. Под руководством и при непосредственном участии автора разработаны эскизные проекты тяговых агрегатов постоянного и переменного тока — базовых моделей типового ряда промышленных электровозов. Построенные тяговые агрегаты подтвердили правильность общих конструкторско-технологических идей.

6. Проведенные тягово-энергетические испытания агрегатов показали высокую сходимость полученных значений параметров с расчетными параметрами типового ряда.

7. Типаж промышленных электровозов согласован и утвержден в установленном порядке, издан для практического использования проектными организациями и промышленными предприятиями.

8. По расчету ВЭЛНИИ внедрение типажа промышленных электровозов в народное хозяйство даст экономию около 20 млн. рублей.

ИИ п/п	Наименование изделия	Обозначение	осевая формула	Средний бег л.	Нагрузка от оси на рельсовый т.	основные параметры										Начало производства по проекту	Год выпуска	Год ввода в эксплуатацию	Итого
						при питании от контактной сети					при питании от автономного источника								
						Мощность каждого ре- жута, кВт	Мощность сети, кВт	Сила тяги каждого ре- жута, т	Сила тяги сети, т	Средняя скорость, км/ч	Вид источ- ника пита- ния	Мощность ис- точника, кВт	Сила тяги, т	Средняя скорость, км/ч	Минимальный радиус кривой, м				
ЭЛЕКТРОВОЗЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА																			
1	АГРЕГАТ ТЯГОВЫЙ	ПЗ1 ПЗ2	$(2\sigma 2\sigma) \cdot 2B(2\sigma - 2\sigma)$	360	30	5400	$\frac{3}{3/15}$	77-64	65	25-30						1524	1972 1969	325	ДЗБЗ
2	АГРЕГАТ ТЯГОВЫЙ	ПЗ3 ПЗ4	$42 \cdot (2\sigma 2\sigma) \cdot 2B(2\sigma - 2\sigma)$	360	30	5400	$\frac{3}{3/15}$	77-64	65	25-30	Д	1500 (1200)	29-21	10-12	80	1524	1973	420	ДЗБЗ
3	АГРЕГАТ ТЯГОВЫЙ	ПЗ5 ПЗ6 ПЗ7	$42 \cdot (2\sigma 2\sigma) \cdot 6(2\sigma - 2\sigma)$	240	30	3600	$\frac{3}{3/15}$	51-43	65	25-30	Д	1500 (1200)	28-20	10-12	80	1524	1973	350	ДЗБЗ
4	АГРЕГАТ ТЯГОВЫЙ	ПЗ8 ПЗ9 ПЗ10	$(2\sigma - 2\sigma) \cdot 8(2\sigma - 2\sigma)$	240	30	3600	$\frac{3}{3/15}$	51-43	65	25-30					80	1524	1973	250	ДЗБЗ
5	ЭЛЕКТРОВОЗ	ПЗ11 ПЗ12 ПЗ13	$2\sigma - 2\sigma - 2\sigma$	180	30	2700	$\frac{3}{3/15}$	38-32	65	25-30	Д	1200	22-19	10-12	80	1524	1975	320	ДЗБЗ
6	ЭЛЕКТРОВОЗ	ПЗ14 ПЗ15 ПЗ16	$2\sigma - 2\sigma$	120	30	1800	$\frac{3}{3/15}$	26-21	65	25-30					80	1524	1974	180	ДЗБЗ
7	ЭЛЕКТРОВОЗ	ПЗ17	$2\sigma - 2\sigma$	84	21	920	1,5	17-14	65	25-30	Д	500	10-8	10-12	60	1524	1974	130	ТЗБЗ
8	ЭЛЕКТРОВОЗ	ПЗ18	$2\sigma - 2\sigma$	60	15	680	1,5	12-10	65	25-30	Д	300	6,6-5,5	10-12	60	1524	1973	100	ТЗБЗ
9	ЭЛЕКТРОВОЗ УЗКОК.	ПЗУ1	$2\sigma - 2\sigma$	30	7,5	260	0,55	5	45	17					40	750	1970	70	ДЗБЗ
ЭЛЕКТРОВОЗЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА																			
10	АГРЕГАТ ТЯГОВЫЙ	ОПЗ-1	$2\sigma 2\sigma \cdot 4(2\sigma 2\sigma) \cdot 3(1\sigma 1\sigma \cdot 1\sigma 1\sigma)$	360	30	6360	10	91-76	65	25-30	Д	2000	30-26	14-16	80	1524	1970	470	НЗБЗ
11	АГРЕГАТ ТЯГОВЫЙ	ОПЗ-2	$2\sigma 2\sigma \cdot 2B(1\sigma 1\sigma \cdot 1\sigma 1\sigma)$	360	30	6360	10	91-76	65	25-30					80	1524	1970	345	НЗБЗ
12	АГРЕГАТ ТЯГОВЫЙ	ОПЗ-3	$(2\sigma - 2\sigma) \cdot 4(2\sigma - 2\sigma)$	240	30	4240	10	61-51	65	25-30	Д	1500	24-21	12-14	80	1524	1974	390	НЗБЗ
13	АГРЕГАТ ТЯГОВЫЙ	ОПЗ-4	$(2\sigma - 2\sigma) \cdot 8(1\sigma 1\sigma \cdot 1\sigma 1\sigma)$	240	30	4240	10	61-51	65	25-30					80	1524	1974	265	НЗБЗ
14	ЭЛЕКТРОВОЗ	ОПЗ-5	$2\sigma - 2\sigma - 2\sigma$	180	30	3180	10	45-38	65	25-30	Д	1200	19-17	12-14	80	1524	1975	270	НЗБЗ
15	ЭЛЕКТРОВОЗ	ОПЗ-6	$2\sigma - 2\sigma$	120	30	2120	10	30-25	65	25-30					80	1524	1975	170	НЗБЗ
16	ЭЛЕКТРОВОЗ ЧЗКОК.	ОПЗУ1	$2\sigma - 2\sigma$	28	7	260	10	5	45	17					40	750	1971	80	ДЗБЗ
17	ЭЛЕКТРОВОЗ УЗКОК.	ОПЗУ2	$42 \cdot (2\sigma - 2\sigma)$	28	7	260	10	5	45	17	Д	100	5,7-4,8	6-7	40	750	1972	110	ДЗБЗ

НТБ
ДНУЖТ

**Основные положения диссертации изложены
в следующих опубликованных работах**

1. Бондаренко Б. Р. Ансберг Г. А., Латышев С. К. Усачев С. М. Опыт эксплуатации электроподвижного состава и перспективное развитие промышленного железнодорожного транспорта. СНТ «Электровозостроение», т. 8, 1967.
2. Аброскин П. И., Белгородский Д. Г. Бондаренко Б. Р. и др. Магистральные электровозы. Механическая часть электровозов. «Транспорт», 1967.
3. Бондаренко Б. Р. Бутко Г. К., Меркулов Н. А., Усачев С. М., Потапов М. Г. Тяговый агрегат переменного тока с источником автономного питания для открытых горных работ. «Горные машины и автоматика», 1969, № 2.
4. Бондаренко Б. Р. Меркулов Н. А., Усачев С. М. Новый электровозный агрегат для открытых горных разработок. СНТ «Электровозостроение», т. 9, 1967.
5. Типаж промышленных электровозов ОАА. 691.052-69. ВНИИстандартэлектрo, 1970.

Результаты работы докладывались автором

На Всесоюзной научно-технической конференции по опыту эксплуатации электроподвижного состава и перспективному развитию промышленного железнодорожного транспорта, г. Днепропетровск, ДИИТ, сентябрь 1966.

На второй всесоюзной научно-технической конференции по карьерному транспорту, г. Свердловск, октябрь, 1966.

На расширенных заседаниях научного семинара кафедр электроподвижного состава и электрических машин и преобразователей, г. Днепропетровск, ДИИТ, октябрь 1969 и апрель 1970.

На заседании электротяговой секции НТС ВЭлНИИ, г. Новочеркасск, ноябрь, 1969.

На объединенном заседании научно-технического совета ВЭлНИИ и НТО НЭВЗ, г. Новочеркасск, ноябрь, 1969.

НТБ
ДНУЖТ

Подписано к печати 8. V. 70 г
ПК 05419. Объем 1,5 печ. л.
Заказ № 492. Тираж 180.

Типография политехнического
института, г. Новочеркасск,
Ростовск. обл.,
ул. Просвещения, 132.