

ЭГБ ОИ

23 НОЯ 1993

МПС РФ

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ (МИИТ)**

На правах рукописи

ШАВРИНА Елена Васильевна

УДК 625.1

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ И
ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

05.22.03 – Изыскание и проектирование железных дорог

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1998

Работа выполнена на кафедре "Изыскания и проектирование железных дорог" Московского государственного университета путей сообщения.

Научный руководитель - кандидат технических наук, профессор
Израиль Иосифович Кантор;

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Георгий Сергеевич Переселенков;
кандидат технических наук, профессор
Владимир Витальевич Космин

Ведущая организация - проектный институт Мосжелдорпроект

Защита состоится "22" января 1998 г. в 16⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета Д 114.05.03 при Московском государственном университете путей сообщения по адресу: 101475, ГСП, Москва А-55, ул. Образцова, 15, ауд. 407.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "19" января 1998 г.

Отзыв, заверенный печатью, просим направлять по адресу совета университета.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Э.В. Воробьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ. Предметом исследования в настоящей диссертационной работе является трасса железных дорог с точки зрения энергосбережения при движении поездов.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Железнодорожный транспорт является крупным потребителем топливно – энергетических ресурсов. Он потребляет ежегодно только на тягу поездов более 20 млрд. кВт*ч электроэнергии и 3,5 млн. т. условного топлива. На его долю приходится около половины всего грузооборота транспортной системы России. Специфической особенностью железнодорожного транспорта является то, что дизельное топливо и электроэнергия выступают здесь в роли сырья для производства транспортной продукции. Это предопределяет большой удельный вес затрат на энергоресурсы в стоимости перевозок. Повышение тарифов на энергоносители на железнодорожном транспорте оказывает большое воздействие на режим его работы. Доля затрат на энергоносители в себестоимости продукции составляет 15-17%. При этом грузовое движение потребляет около 68% электроэнергии. Стоимость топливно– энергетических ресурсов к концу 1995 г. в среднем по стране возросла почти в три раза. За это же время стоимость грузовых перевозок на железнодорожном транспорте возросла в 2,5 раза. Расход энергии на тягу поездов является одной из основных статей затрат, связанных с движением. Удельный расход электроэнергии на тягу поездов в настоящее время составляет около 135 кВт*ч/10 тыс.т.*км, а расход условного топлива – 65 кг/10 тыс.т.*км.

В связи с большой разницей мировых и российских цен на топливно – энергетические ресурсы в условиях отсутствия монополии государства на продажу их за рубеж, можно полагать, что цены на них в России будут расти. Вместе с тем 25% всех потребляемых ресурсов теряется из-за недостатка мер по их сбережению, отчего очень остро стоит вопрос об их экономии.

В связи с этим в 1996 г. был принят Федеральный закон "Об

энергосбережения". Он направлен на повышение эффективности использования энергоресурсов во всех отраслях производства, в том числе и на транспорте.

Принимая во внимание сложную ситуацию в топливно-энергетическом комплексе страны, дефицит энергоресурсов приводит к трудностям в эксплуатационной работе железной дороги. Поэтому в настоящее время очень актуальна задача сбережения энергии начиная со стадии проектирования и заканчивая условиями эксплуатации железной дороги.

Энергосберегающие решения должны приниматься уже при выборе параметров проектируемых линий. Увеличения энергосбережения можно достичь также за счет рационального проектирования трассы.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью настоящего исследования является установление зависимости экономии электроэнергии и дизельного топлива на тягу поездов при уменьшении уклона продольного профиля, различной степени удлинения трассы, различных видах тяги и условий движения поездов и определение максимально возможного с точки зрения экономии энергозатрат удлинения линии при уменьшении уклона. Кроме того, необходимо разработать методику оценки энергоэффективности таких параметров железной дороги, как руководящий уклон и расчетная масса грузовых поездов, а также выбора наиболее выгоднейших значений этих основных параметров проектирования с точки зрения экономии энергоресурсов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Основными методами исследования, используемыми в данной работе, являются принципы системного анализа и экспериментальное проектирование.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Научная новизна работы состоит в том, что впервые установлено понятие предельного значения удельного веса напряженных ходов трассы, которое может быть использовано при назначении вариантов руководящего уклона проектируемых железных дорог. В работе впервые сделана попытка установить для различных руководящих уклонов

проектируемой линии пределы значений удельного веса напряженного хода трассы по условию минимума энергетических затрат на тягу поездов и минимума эксплуатационных расходов. Приведенные данные могут служить ориентиром при назначении вариантов руководящего уклона проектируемой железной дороги.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Практическое значение диссертации состоит в том, что разработанные в ней материалы позволяют при выборе параметров и проектировании трассы железных дорог оценивать варианты проектных решений по критериям энергозатрат и эксплуатационных расходов.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ. Материалы диссертационного исследования используются проектно-изыскательским институтом Мосгипротранс в проектировании железной дороги Беркамит-Томмот_Якутск при оценке вариантов трассы.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные положения диссертации доложены и одобрены на научных семинарах кафедры "Изыскания и проектирование железных дорог" (1996-1998 г.), на научно-технических конференциях и симпозиумах МИИТа и РГОТУПС (1996-1998 г.).

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 4 работы.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, а также списка используемых источников, включающего 61 наименование. Работа изложена на 147 страницах, в том числе 110 страниц машинописного текста, 36 рисунков, 30 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ показана роль железнодорожного транспорта как одного из наиболее энергоемких видов транспорта, освещены последние решения правительства по вопросу энергосбережения, показана актуальность задачи.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ приведен исторический обзор обоснования применения крутых и пологих уклонов в нашей стране и за рубежом, изложены основные этапы разработки методики выбора руководящего уклона и соответствующей

ему массы грузового поезда, проведен анализ современных работ, посвященных проблеме экономии энергоресурсов на железнодорожном транспорте. Сформулирована цель и задачи исследования.

Исключительно важное значение для экономии энергетических затрат имеет дальнейшее совершенствование и развитие методов проектирования новых железных дорог, технического оснащения, прогрессивных методов вождения поездов и рациональной технологии эксплуатационной работы. При этом особого внимания заслуживают вопросы, связанные с выбором наивыгоднейших основных технических параметров проектируемых железных дорог, обеспечивающих минимальную себестоимость железнодорожных перевозок. Интерес к проблеме установления наивыгодных значений руководящего уклона и веса поезда обусловлен главным образом тем, что указанные параметры в значительной мере определяют размеры эксплуатационных расходов проектируемой линии и капиталовложения по строительству. Если проблемы выбора наивыгодных параметров трассы поднимались ранее в отечественных научных исследованиях, то сама трасса сравнительно редко служила предметом исследования, особенно в части, касающейся экономических исследований.

Большое внимание вопросам правильного выбора руководящего уклона еще при строительстве первых железных дорог в России было уделено инженером П.П. Мельниковым. Им впервые было указано на необходимость учета топографических условий местности и предстоящих размеров грузовых перевозок при выборе руководящего уклона и отмечено, что уменьшение уклонов профиля выгодно производить до тех пор, пока экономия в эксплуатационных расходах окупает дополнительные строительные затраты от увеличения объемов земляных работ.

Работы, посвященные проблеме экономии энергоресурсов, проводились по некоторым направлениям: оптимизация профиля, по которому движется поезд, оптимизация режимов движения поезда,

изменение эксплуатационных условий.

Работы по оптимизации профиля проводились в ЦНИИСе под руководством В.И. Струченкова и в МИИТе под руководством И.В. Турбина.

В разное время проблемой выбора наивыгодного очертания продольного профиля и руководящего уклона занимались такие исследователи, как : Г.Л. Аккерман, Б.Н. Веденисов, В.А. Гранильщиков, П.К. Денисов, А.И. Иоаннисян, А.П. Кондрагченко, К.А. Оппенгейм, Петерсон, М.М. Протодьяконов, А.И. Репрев.

Поиску оптимальных режимов движения поезда посвятили свои работы : М.Г. Ильгинсонис, Я.Б. Кудрявцев, А.А. Лянда, А.М. Пакман, Е.М. Пакман, А.В.Плакс, Л.Е. Садовских.

Выбором оптимального профиля линии занимались А.А. Лянда, Н.Д. Треймундт, Г.К. Федоров.

Л.А. Горяинов, Б.Н. Минаев, Г.П. Мокриденко, В.В. Мунькин исследовали возможности сбережения топливно – энергетических ресурсов.

Проведенные некоторыми авторами исследования в части проектирования продольного профиля с учетом экономии энергозатрат приводят к выводу, что:

-соответствующим сочетанием уклонов и длин элементов профиля можно добиться такого соотношения сил, действующих на движущийся поезд, при котором расход энергии будет минимальным. При движении по оптимальному профилю экономия энергозатрат достигает 15 %;

-в пределах участка затяжного подъема может быть целесообразным проектирование элементов трассы с более пологими уклонами. Указанная мера позволяет сэкономить 10-15 % энергозатрат в пределах длины смягчаемого уклона.

Далее автором настоящей диссертации определены цели и задачи исследования : установление зависимости экономии энергозатрат на тягу поездов при уменьшении уклона продольного профиля, максимальное

экономически обоснованное удлинение линии при уменьшении уклона, выбор наивыгодных значений основных параметров проектирования (руководящий уклон и расчетная масса поезда) и разработка методики оценки энергоэффективности этих параметров.

ВТОРАЯ ГЛАВА посвящена исследованию энергоэффективности уменьшения уклона продольного профиля на участках движения поездов расчетной массы в установившемся режиме.

При преодолении трассой значительной высоты на участке затяжного подъема наибольшее количество энергии расходуется на участках продольного профиля, по которым поезд движется с установившейся скоростью равной расчетной. При сохранении нормы массы поезда увеличение скорости движения может быть достигнуто уменьшением ограничивающего уклона, что в свою очередь может привести к экономии энергии и, соответственно, эксплуатационных расходов в пределах длины уменьшаемого уклона.

Исследовано влияние крутизны уклона продольного профиля и степени удлинения трассы на энергетические затраты и эксплуатационные расходы.

Результаты исследования определены в две группы в зависимости от величины изменения длин участков, рассчитанной в двух вариантах.

1. Если принять во внимание, что сумма преодолеваемых высот при уменьшении уклона изменится на величину $\Delta H = (i_{ор} - i_{ум})L$ (где $i_{ор}$ – первоначальный уклон линии, $i_{ум}$ – уменьшенный уклон), то длина участка трассы может оставаться неизменной при любом уменьшенном уклоне. В этом случае расход электроэнергии и топлива имеет плавную зависимость от уклона. Уменьшение ограничивающего уклона 15 % на 3 % приводит к экономии электроэнергии 15% и экономии дизельного топлива 19%.

2. Если преодолеваемая высота неизменна, то длина линии возрастает обратно пропорционально уменьшению уклона, то есть по соотношению

$$L_2 = \frac{I_1 i_{\text{оп}}}{i_{\text{н}}}$$

В этом случае уменьшение уклона продольного профиля приводит к соответствующему удлинению линии, что существенно увеличивает расход энергии. Так, при уменьшении $i_{\text{оп}} = 15\%$ на 3% расход электроэнергии увеличивается на 8% , а расход топлива на 1% .

Поскольку при изменении уклона без удлинения участка напряженного хода достигается определенный эффект в экономии энергозатрат, а уменьшение уклона с удлинением участка из соотношения уклонов не приносит экономии, то представляет интерес зависимость относительного изменения затрат энергии от степени увеличения длины трассы. Такая зависимость была найдена:

$$\delta_A = d - b\delta_L \quad (1),$$

где $b = \frac{I_2 V_1}{I_1 V_2}$ - для электрической тяги, $b = \frac{G_1 V_1}{G_2 V_2}$ - для тепловозной тяги;

I_1 - ток электровоза, А; G - расход дизельного топлива кг/мин;

$d = 1 - b$; $\delta_L = \frac{\Delta L}{L}$ - относительное удлинение трассы.

Полученное уравнение прямой позволяет определить размер экономии электроэнергии или топлива при уменьшении уклона продольного профиля от $i_{\text{оп}}$ до $i_{\text{н}}$ в зависимости от степени удлинения трассы, построить зависимости $\delta_A(\delta_L)$ и $\delta_L(\delta_A)$ для каждого соотношения уклонов и найти предельное удлинение, при котором экономия электроэнергии и топлива становится равной нулю.

Предельное удлинение по условию экономии энергозатрат:

- для электрической тяги: $\delta_L = \frac{1}{b} - 1 = \frac{I_2 V_2}{I_1 V_1} - 1$;

- для тепловозной тяги: $\delta_L = \frac{G_1 V_2}{G_2 V_1} - 1$

Кривые на рис.1 ограничивают сферу эффективного, по условию экономии энергозатрат, уменьшения уклона продольного профиля, которая располагается ниже соответствующей кривой.

Уменьшение преодолеваемой высоты и удлинение трассы приводят к увеличению объемов строительных работ и соответствующему повышению строительной стоимости линии. Однако сокращение эксплуатационных расходов при движении поездов, обусловленное уменьшением расхода энергии и сокращением времени хода поездов, может компенсировать увеличение капиталовложений.

Для определения размера экономии эксплуатационных расходов в зависимости от степени удлинения трассы при уменьшении уклона и нахождения предельного удлинения было получено уравнение:

$$\delta_c = m - n\delta_L \quad (2),$$

где $m=1-n$; m отношение эксплуатационных расходов, зависящих от длины линии для вариантов с $i_{ум}$ и $i_{огр}$.

Для каждого соотношения уклонов было определено предельное удлинение трассы по условию экономии эксплуатационных расходов. Предельные значения удлинения, которые ограничивают эффективность уменьшения уклона профиля с целью снижения эксплуатационных расходов, приведены на рис. 2.

Таким образом, уменьшение уклонов продольного профиля проектируемых железных дорог на участках затяжных ограничивающих подъемов может обеспечить снижение расхода электроэнергии, дизельного топлива и эксплуатационных расходов железных дорог, если при этом удлинение трассы не будет превосходить установленных пределов.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена исследованию эффективности уменьшения уклона продольного профиля на участках движения поездов в неустановившемся режиме.

Исследовано влияние протяженности ограничивающего подъема и

профиля перегона на величину расхода энергии и эксплуатационные расходы.

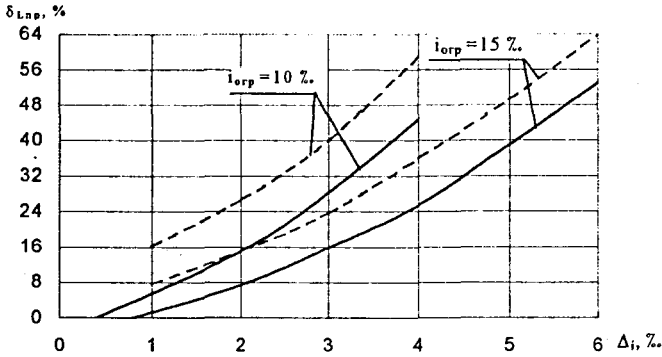


Рис. 1. Предельные значения удлинения трассы δ_L при уменьшении ограничивающего уклона на Δ_i с целью экономии энергетических ресурсов:

сплошная линия – электрическая тяга,
штриховая линия – тепловозная тяга

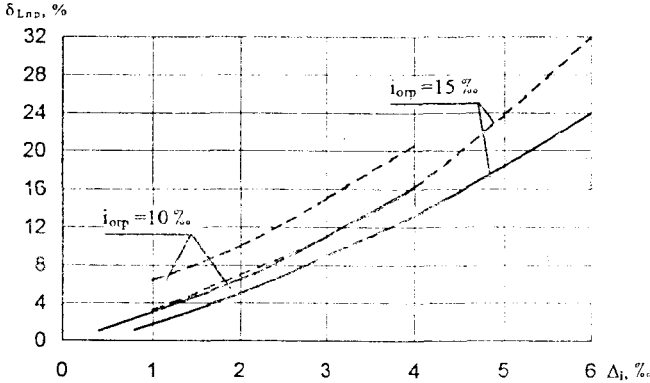


Рис. 2. Предельные значения удлинения трассы δ_L при уменьшении ограничивающего уклона на Δ_i с целью снижения эксплуатационных расходов:

условные обозначения см. на рис. 1.

В данной главе эффективность уменьшения уклона продольного профиля на участках движения поездов в неустановившемся режиме исследована в зависимости от:

- значения подходной скорости к участку напряженного хода ($V_{вх}$);
- протяженности участка напряженного хода ($L_{нх}$);
- уклона и протяженности участка перегона, расположенного за напряженным ходом.

Проведенные в данной главе исследования показали, что при неустановившемся движении поездов, которое характерно для перегонов с относительно небольшим протяжением напряженных ходов, уменьшение ограничивающего уклона на 20% может привести к сокращению расхода электроэнергии и дизельного топлива на тягу поездов при движении в обоих направлениях на напряженном ходу в размере 12,5-16%, а также к уменьшению эксплуатационных расходов в размере 2-10 % соответственно.

Увеличение подходной скорости оказывает незначительное влияние на величину экономии энергии и эксплуатационных расходов. Трехкратное увеличение длины участка напряженного хода в среднем увеличивает экономию энергозатрат на 6-4,5% в зависимости от вида тяги. В этом случае экономия эксплуатационных расходов выше на 2,5% при электрической тяге и на 3% при тепловозной тяге.

Очевидно, что оценка эффективности уменьшения уклона профиля на участке напряженного хода была бы неполной без учета того, что при более пологом уклоне увеличение выходной скорости с участка напряженного хода $V_{вх}$ приводит к уменьшению энергозатрат на последующем участке вольного хода трассы, для которого скорость $V_{вх}$ является начальной скоростью. Ожидаемая экономия расхода энергии на вольном ходу зависит от профиля участка вольного хода, следующего за напряженным. С целью определения влияния участка вольного хода, следующего за напряженным, на размеры экономии проведено исследование некоторых профилей вольного

хода: площадочного типа, подъема и спуска.

При любом из рассмотренных профилей участка вольного хода учет экономии электроэнергии и топлива в пределах этого участка повышает эффективность уменьшения уклона на напряженном ходу. Наибольший эффект достигается в случае профиля участка вольного хода в виде подъема. Так, при уменьшении $i_{\text{вп}}=15\%$ на 20% экономия энергозатрат достигает, а 15-19% экономия эксплуатационных расходов 11,5-13,5% при электрической и тепловозной тяге соответственно.

В третьей главе также установлено предельное удлинение трассы при уменьшении уклона профиля на напряженном ходу различной длины при профилях вольного хода : подъем и спуск. Экономия энергозатрат будет иметь место, если удлинение трассы на участке напряженного хода при уменьшении уклона не превысит определенных значений. Кривые (рис.3) ограничивают область эффективного удлинения линии при уменьшении уклона от 15 до 12 %, на участках с различной длиной напряженного хода и при разных профилях участка вольного хода.

Удлинение линии, связанное с уменьшением уклона на участке напряженного хода, и учет в суммарных эксплуатационных расходах расходов на содержание постоянных устройств, также зависящих от длины трассы, должно снизить экономию суммарных эксплуатационных расходов при уменьшении уклона профиля по сравнению с экономией энергии. В связи с этим определено максимальное удлинение линии, которое ограничивает возможное снижение эксплуатационных расходов при уменьшении уклона профиля (рис.4).

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ рассмотрены энергосберегающие решения при выборе параметров проектируемых железных дорог, в частности ограничивающего уклона и массы грузовых поездов.

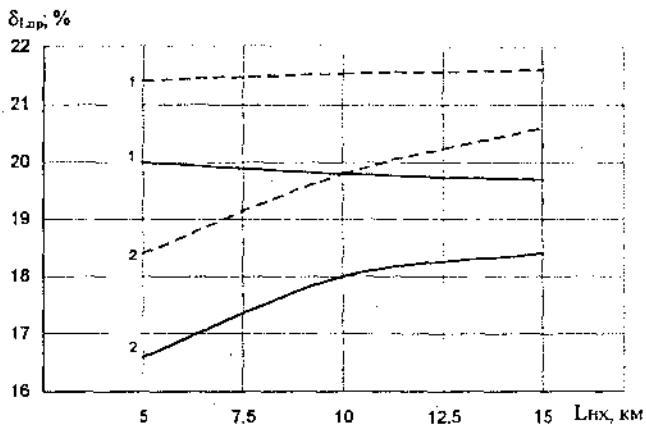


Рис. 3. Предельные значения удлинения δ_L в зависимости от длины участка напряженного хода $L_{НХ}$ с целью экономии энергетических ресурсов:

сплошная линия — электрическая тяга, штриховая — тепловозная тяга; 1 — участок вольного хода представлен подъемом 9%, 2 — то же — спуском 9%.

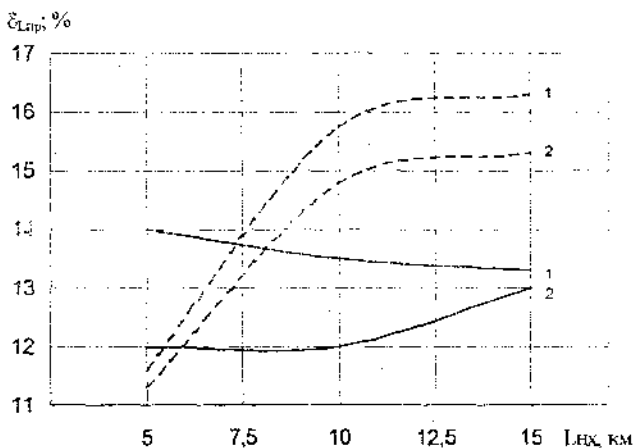


Рис. 4. Предельные значения удлинения δ_L в зависимости от длины участка напряженного хода $L_{НХ}$ с целью снижения эксплуатационных расходов:

обозначения кривых см. на рис. 3

Наибольший расход энергии происходит при движении поезда по затяжному ограничивающему подъему. Уменьшение руководящего уклона влечет за собой увеличение массы поезда и при неизменной скорости движения приводит к уменьшению удельного расхода энергии (на 1 ткм). Однако при этом возрастает длина трассы и, следовательно, расход энергии на единицу массы перевозимого груза на участках напряженного хода зависит от соотношения массы поездов и длины напряженного хода при различных значениях руководящего уклона. В то же время уменьшение руководящего уклона и увеличение массы поезда приводит к снижению скорости движения на участках вольного хода трассы и, следовательно, расход энергии на этих участках зависит от соотношения массы составов и скоростей движения при различных значениях руководящего уклона.

Очевидно, что расход электроэнергии или топлива при различных вариантах руководящего уклона проектируемой линии зависит от соотношения вольных и напряженных ходов трассы. Настоящая глава посвящена анализу зависимости расхода энергии и эксплуатационных расходов от крутизны ограничивающего уклона продольного профиля при различном удельном весе напряженных ходов и определению энергооптимальной крутизны ограничивающего уклона в зависимости от удельного веса напряженного хода.

Поскольку увеличение длины линии при уменьшении ограничивающего уклона играет значительную роль при определении расхода энергии на тягу поездов, в данном исследовании рассмотрены два случая изменения длин участков вольного и напряженного ходов трассы.

1. Так как максимальное удлинение линии вследствие уменьшения руководящего уклона профиля происходит пропорционально отношению уклонов трассирования, то в качестве варианта, который может принести минимальную экономию энергозатрат и эксплуатационных расходов, рассмотрен случай изменения длины участка напряженного хода $L_{нп}$

пропорционально отношению уклонов. Длина участка вольного хода $L_{\alpha x}$ при этом остается неизменной :

$$L_{\alpha x1} = L\alpha, \quad L_{\alpha x2} = La\alpha, \quad L_{\alpha x} = (1 - \alpha) L, \quad \text{где } a = \frac{i_{p1} - i_{жк}}{i_{p2} - i_{жк}} - \text{отношение уклонов}$$

трассирования, α - удельный вес напряженных ходов.

Удельная величина механической работы локомотива (МДж/т), а следовательно, и удельный расход энергии при движении в обоих направлениях для первоначального варианта и варианта уменьшенного уклона определяются соответственно:

$$r_1 = \frac{F_p L \alpha + 2 F_{\alpha 1} (1 - \alpha) L}{Q_1} \quad (3)$$

$$r_2 = \frac{F_p La \alpha + 2 F_{\alpha 2} (1 - \alpha) L}{Q_2} \quad (4),$$

где Q_1 и Q_2 - массы составов, соответствующие принимаемым руководящим уклонам, т.

F_p - расчетная сила тяги локомотива, кН;

$F_{\alpha 1}$ и $F_{\alpha 2}$ - сила тяги локомотива на вольном ходу для вариантов с первоначальным и уменьшенным уклоном соответственно, кН.

Сила тяги на участках вольного хода определена по средней ходовой скорости поездов. Для задачи сравнения вариантов трассы и определения эксплуатационных расходов, пропорциональных размерам движения, средние ходовые скорости определялись по результатам исследований к.т.н. Рывкина Ю.Е. и проф. Турбина И.В.

На напряженном ходу уменьшение руководящего уклона, даже при максимальном удлинении линии, дает незначительное увеличение расхода энергии, а на вольном ходу, даже при неизменной его длине, уменьшение руководящего уклона дает значительное уменьшение расхода энергии. Поэтому эффективность уменьшения руководящего уклона зависит в первую очередь от соотношения длин участков вольного и напряженного ходов.

Существует некоторое определенное значение этого соотношения, при котором затраты энергии и эксплуатационные расходы для вариантов с i_{p1} и i_{p2} будут одинаковы. Используя формулы удельной механической работы при первоначальном и при уменьшенном руководящем уклоне, определено предельное значение удельного веса напряженного хода по условию экономии электроэнергии и дизельного топлива :

$$\alpha_{np} = \frac{2(F_{ax1}Q_2 - F_{ax2}Q_1)}{F_p(\alpha Q_1 - Q_2) + 2(F_{ax1}Q_2 - F_{ax2}Q_1)} \quad (5),$$

и по условию экономии эксплуатационных расходов :

$$\alpha_{np} = \frac{\Gamma(n_2Q_1 - n_1Q_2)}{\Gamma[Q_2(n_1 - m_1) - Q_1(n_2 - m_1)] - Q_2Q_1L(a-1)} \quad (6).$$

Здесь m_1 и m_2 – величина эксплуатационных расходов на один поезд-км только на участке напряженного хода для вариантов с первоначальным и уменьшенным руководящим уклоном соответственно; n_1 и n_2 – величина эксплуатационных расходов только на участке вольного хода для вариантов с первоначальным и уменьшенным руководящим уклоном.

Подставляя в полученные выражения соответствующие значения для первоначального и уменьшенного уклонов, можно найти предельный удельный вес участка напряженного хода для любой разности уклонов. Полученные зависимости предельного удельного веса напряженных ходов позволяют установить границы эффективности различных руководящих уклонов по критерию минимума затрат электроэнергии или дизельного топлива, либо минимума эксплуатационных расходов (табл.1).

При удельном весе напряженных ходов менее его предельного значения уменьшение руководящего уклона может привести к существенной экономии энергозатрат и эксплуатационных расходов. В работе определены также размеры этой экономии при разном удельном весе напряженных ходов (рис.5).

Таблица 1.

Предельный удельный вес напряженного хода по условию экономии энергозатрат
/эксплуатационных расходов для $\Delta i=3\%$.

Руководящий уклон линии, i_{p1} , %	Предельный удельный вес напряженного хода, %, при виде тяги	
	электрическая	тепловозная
15	83/50	89/59
14	80/46	85/55
13	74/40	81/50
12	68/34	77/47
11	59/29	72/41
10	48/22	66/37
9	36/16	61/32
8	25/11	55/28

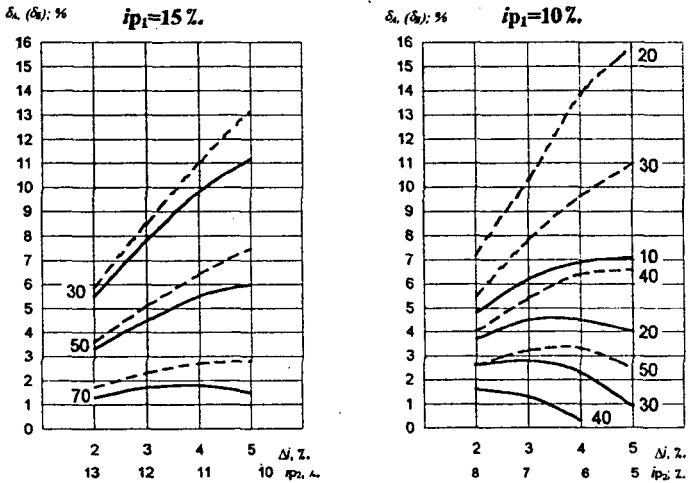


Рис. 5. Зависимость экономии энергетических затрат δ_A (δ_E) от изменения руководящего уклона:
сплошная линия – электрическая тяга,
штриховая линия – тепловозная тяга,
цифровое обозначение кривых означает удельный вес участков напряженного хода α , %.

2. В ряде случаев при уменьшении руководящего уклона, наряду с увеличением длины участка напряженного хода протяженность участка вольного хода трассы может уменьшиться. Очевидно, что при разных топографических условиях сокращение длины вольного хода будет происходить в различной мере. В качестве второго варианта рассмотрен случай увеличения длины участка напряженного хода $L_{нх}$ из соотношения уклонов при одновременном уменьшении длины участка вольного хода на определенную величину.

В данном случае длина участка вольного хода :

$$L_{вх1} = L(1-\alpha)$$

$$L_{вх2} = L(1-\alpha) - \Delta L_{нх} b, \text{ где } b \text{ изменяется от } 0,2 \text{ до } 0,7, \text{ а } \Delta L_{нх} = L_{нх2} - L_{нх1}.$$

При удельном весе напряженного хода $\alpha=30\%$ уменьшение руководящего уклона от 15 до 12 ‰ ($a = 1,259$) с сокращением длины участка вольного хода на $0,2\Delta L_{нх}$ приносит экономию электроэнергии 9%. Экономия электроэнергии при прочих одинаковых условиях и сокращением длины участка вольного хода на $0,2 \Delta L_{нх}$ при $\alpha=70\%$ достигает 4%. Таким образом учет удлинения участка напряженного хода за счет сокращения длины вольного хода при уменьшении руководящего уклона линии несколько увеличивает экономию электроэнергии по сравнению с предыдущим вариантом (см.рис.5).

В четвертой главе установлена связь между такими показателями трассы, как руководящий уклон, удельный вес напряженных ходов и минимальные энергетические затраты на движение поездов и эксплуатационные расходы. В связи с этим определены значения удельного веса напряженных ходов трассы (табл.2) для различных руководящих уклонов по условиям минимума энергетических затрат на тягу поездов и минимума эксплуатационных расходов.

Таким образом, при проектировании трассы каким-либо из перечисленных в таблице руководящих уклонов минимального расхода

электроэнергии или дизельного топлива можно ожидать в том случае, если величина удельного веса напряженного хода на проектируемой линии будет находиться в пределах, указанных в таблице. Данные приведенные в ней могут служить ориентиром при назначении вариантов руководящего уклона проектируемой железной дороги.

Таблица 2.
Значения удельного веса напряженного хода по условию обеспечения наименьших энергозатрат

Руководящий уклон, %.	Пределы удельного веса напряженного хода, %, по условию экономии энергозатрат	
	Электрическая тяга	Тепловозная тяга
15	>90	>90
14	85-90	95-90
13	80-85	90-85
12	75-80	90-85
11	70-80	85-80
10	65-75	80-75
9	50-65	80-70
8	40-55	75-65

Результаты исследования показали, что при оценке энергоэффективности некоторых параметров железных дорог (руководящий уклон и расчетная масса грузовых поездов) может быть использован показатель – удельный вес напряженных ходов трассы.

ПЯТАЯ ГЛАВА диссертации посвящена практическому применению результатов исследования на конкретном примере.

Теоретически размеры экономии энергетических затрат при движении поезда в установившемся и неустойчивом режиме достигают значительных величин. Причем, чем меньше при более пологом уклоне удлинение участка ограничивающего уклона и всего рассматриваемого участка трассы, тем выше экономия энергозатрат. Поэтому в каждом

конкретном случае величина этой экономии зависит от топографических условий местности.

В качестве примера в данной главе рассмотрен участок проектируемой железнодорожной линии Беркакит–Томмот–Якутск (проект Мосгипротранса). Для исследования принят перстон этой трассы от разъезда Якутский Укулан до разъезда Сахамакит общей протяженностью около 18 км. Этот перегон почти на всем протяжении запроектирован подъемом. Затяжной ограничивающий подъем двойной тяги 18 ‰ на этом участке составляет 6,5 км. На участке перегона (км 403-км 410) произведено смягчение уклона с 18 до 15 ‰, с уменьшением преодолеваемой высоты на 6 м. Длина участка напряженного хода при перетрассировке увеличилась на 14%, (880 м), при этом общая длина перегона за счет сокращения участка вольного хода увеличилась на 230 м. В результате этого уменьшение ограничивающего уклона на 3 ‰ на участке напряженного хода при движении на подъем привело к трехпроцентной экономии дизельного топлива. Увеличение скорости движения привело к уменьшению времени хода на 8%. Наличие за участком напряженного хода участка вольного хода повысило экономию топлива на всем участке до 5%. Время хода при этом сократилось на 9%. Учет движения в обратном направлении почти не снизил экономию топлива, но экономия во времени хода уменьшилась до 3% только на напряженном ходу и до 6% на всем участке.

Полученные в пятой главе практические результаты уменьшения уклона продольного профиля близки к результатам теоретических исследований.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Железнодорожный транспорт России является крупным потребителем энергетических ресурсов, используя ежегодно только на тягу поездов более 20 млрд. кВт·ч электроэнергии и 3,5 млн. т. условного топлива. Поэтому экономия энергозатрат на железнодорожном транспорте является

актуальной задачей повышения эффективности железнодорожного транспорта.

2. Одним из решений, обеспечивающих экономию энергозатрат и эксплуатационных расходов железной дороги, может быть на стадии проектирования трассы уменьшение уклона продольного профиля на участках ограничивающих подъемов при сохранении массы поезда и соответствующем увеличении скорости движения.
3. При неизменной длине напряженного хода и соответствующем уменьшении преодолеваемой трассой высоты уположение ограничивающего уклона 10-15% на 20% (на 2-3 %) приводит на данном участке к сокращению расхода электроэнергии до 12-15% и дизельного топлива до 20%, при этом уменьшение эксплуатационных расходов (при грузонапряженности 10 млн ткм/км год в каждом направлении) достигает соответственно 8 и 13%.
4. Для условий установившегося движения поездов по ограничивающему подъему получены зависимости экономии затрат электроэнергии, дизельного топлива и эксплуатационных расходов при уменьшении уклона профиля в функции относительного удлинения участка напряженного хода.
5. Для условий неустановившегося движения поездов исследовано влияние длины участка напряженного хода и скоростей подхода к нему на размеры экономии энергозатрат и эксплуатационных расходов при уменьшении уклона продольного профиля.
6. Определена дополнительная экономия энергозатрат и эксплуатационных расходов на участках вольного хода, расположенных за напряженным ходом, вследствие увеличения выходной скорости с участка напряженного хода при уменьшении ограничивающего уклона. Выявлена зависимость этой экономии от профиля вольного хода.

7. В исследовании определены предельные значения удлинения участка напряженного хода, обеспечивающие экономию энергозатрат и эксплуатационных расходов при уменьшении уклона продольного профиля. В результате установлены сферы эффективного уменьшения уклона профиля на участках напряженных ходов.
8. Выполненный анализ приводит к выводу, что наибольший эффект при уменьшении уклона профиля достигается при тепловозной тяге и что каждая тысячная уменьшения уклона при пологих ограничивающих уклонах более эффективна, чем при крутых уклонах.
9. В работе показано, что при оценке энергоэффективности таких параметров проектируемых железных дорог, как ограничивающий (руководящий) уклон и расчетная масса грузовых поездов может быть использован показатель – удельный вес напряженных ходов трассы.
10. Получена зависимость предельного значения удельного веса напряженных ходов от влияющих факторов, которая позволяет установить границы эффективности различных руководящих уклонов по критерию минимума затрат электрической энергии или дизельного топлива на тягу поездов, либо минимума эксплуатационных расходов. При удельном весе напряженных ходов меньше его предельного значения уменьшение руководящего уклона может привести к существенной экономии электроэнергии, дизельного топлива и эксплуатационных расходов.
11. В работе впервые сделана попытка установить для различных руководящих уклонов проектируемой линии пределы значений удельного веса напряженного хода трассы по условию минимума энергетических затрат на тягу поездов и минимума эксплуатационных расходов. Приведенные данные могут служить ориентиром при назначении вариантов руководящего уклона проектируемой железной дороги.

ЛИТЕРАТУРА

Основные положения диссертации опубликованы в работах :

1. Шаврина Е.В. К вопросу о проектировании трассы железных дорог с учетом экономии электроэнергии и топлива на тягу поездов / Первая межвузовская научно-методическая конференция. Тез. докл.-Ч.II.-1996.-С.173-176.
2. Шаврина Е.В. О проектировании профиля железных дорог с учетом сбережения энергетических ресурсов / Симпозиум "Информационное обеспечение технических и организационных систем на железнодорожном транспорте". Тез. докл.-1998.-С.13-14.
3. Кантор И.И., Шаврина Е.В. Энергоэффективные решения при проектировании трассы железных дорог // Вестник ВНИИЖТ.-1998.-№ 1. С.45-48.
4. Кантор И.И., Шаврина Е.В. Энергосберегающие решения при выборе параметров проектируемых железных дорог // Трансп. стр-во.-1998.-№8.-С.13-14.

Шаврина Елена Васильевна



Энергосберегающие решения при выборе параметров и проектировании
трассы железных дорог

05.22.03 – Изыскание и проектирование железных дорог

Подписано к печати 05.11.98.

Формат бумаги 60x84 1/16 Объем 1,5 п.л. Заказ 783, Тираж 80 экз.
