7universum.com
UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научный журнал
Издается ежемесячно с декабря 2013 года
Является печатной версией сетевого журнала
Universum: технические науки

Выпуск: 9(78)

Сентябрь 2020

Часть 1

Москва
2020

УДК 62/64+66/69

ББК 3

U55

Главный редактор:

Ахметов Сайранбек Махсутович, д-р техн. наук;

Заместитель главного редактора:

Ахмеднабиев Расул Магомедович, канд. техн. наук;

Члены редакционной коллегии:

Демин Анатолий Владимирович, д-р техн. наук;

Елисеев Дмитрий Викторович, канд. техн. наук;

Звездина Марина Юрьевна, д-р. физ.-мат. наук;

Ким Алексей Юрьевич, д-р техн. наук;

Козьминых Владислав Олегович, д-р хим. наук;

Ларионов Максим Викторович, д-р биол. наук;

Манасян Сергей Керопович, д-р техн. наук;

Мартышкин Алексей Иванович, канд. техн. наук;

Серегин Андрей Алексеевич, канд. техн. наук;

Юденков Алексей Витальевич, д-р физ.-мат. наук.

U55 Universum: технические науки: научный журнал. – № 9(78). Часть 1. М., Изд. «МЦНО», 2020. – 104 с. – Электрон. версия печ. публ. – <http://7universum.com/ru/tech/archive/category/978>

ISSN : 2311-5122

DOI: 10.32743/UniTech.2020.78.9-1

Учредитель и издатель: ООО «МЦНО»

ББК 3

© ООО «МЦНО», 2020 г.

Содержание

Безопасность деятельности человека	5
К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ВЫСОКОЙ ВОДЫ ПО СЛЕДАМ ПАВОДКОВ НА ОПОРАХ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОСТОВ (НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ ПРЕДГОРНЫХ РЕК УЗБЕКИСТАНА)	5
Туляганов Абдукаххар Хакимович Махкамов Бехзоджон Равшанович	
Информатика, вычислительная техника и управление	9
ПОНЯТИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ	9
Назаров Шахзод Эркинович	
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ	11
Хазратов Фазлиддин Хикматович	
К ФОРМУЛИРОВКЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ	14
Аблялимов Олег Сергеевич	
О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	16
Аблялимов Олег Сергеевич	
О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА МАКСИМУМА	19
Аблялимов Олег Сергеевич	
К МЕТОДУ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ	22
Аблялимов Олег Сергеевич	
О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ	27
Аблялимов Олег Сергеевич	
ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ	30
Аблялимов Олег Сергеевич	
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ВЫИГРЫША В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ	35
Аблялимов Олег Сергеевич	
К РЕШЕНИЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВИДА $y' = f(x, y)$ МЕТОДОМ ХОРД	40
Аблялимов Олег Сергеевич	
ВЫБОР ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ШАГА ИНТЕГРИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЁТАХ НА ЭВМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВИДА $y' = f(x, y)$	44
Аблялимов Олег Сергеевич	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВИДА $y' = f(x, y)$ МЕТОДОМ ХОРД	47
Аблялимов Олег Сергеевич	
Машиностроение и машиноведение	50
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЖИНИРОВАНИЯ ПО КАЧЕСТВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ВОЛОКНА ПУТЕМ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ПИЛ НОВЫМ АБРАЗИВНЫМ МАТЕРИАЛОМ	50
Искандарова Нигора Курванбековна Шин Илларион Георгиевич	
ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, СКОРОСТНОГО И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ РАЗРАБОТАННОГО ВОЛОКНООЧИСТИТЕЛЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	55
Мадрахимов Дилшодбек Усупжонович Муминов Улугбек Мамитбекович	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ КОЛОСНИКОВЫХ РЕШЕТОК ОЧИСТИТЕЛЕЙ ХЛОПКА ОТ КРУПНОГО СОРА	59
Мадумаров Илхом Дадаханович Ташпулатов Дилшод Салихович	

Металлургия и материаловедение	62
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ	62
Саидахмедов Ақтам Абдисамиевич Хасанов Абдирашид Салиевич Хужамов Умиджон Умаркулович	
Строительство и архитектура	68
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХПОЯСНЫХ РЕШЕТЧАТЫХ СТРУКТУР	68
Суванкулов Илхомжон Шахобиддинович Узоков Шерзод Хамидович Элмонов Сирожиддин Мамадиярович Абдумоннонов Махсуд	
Транспорт	72
УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА И НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЕГО РЕШЕНИЯ	72
Абляимов Олег Сергеевич	
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	76
Абляимов Олег Сергеевич	
ОБ ЭНЕРГЕТИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	80
Абляимов Олег Сергеевич	
АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	85
Абляимов Олег Сергеевич	
К АНАЛИЗУ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗОВ ЗТЭ10М НА УЧАСТКЕ МАРОКАНД – КАТТАКУРГАН УЗБЕКСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ	88
Абляимов Олег Сергеевич Ходжиев Жасур Джура угли	
ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	91
Абляимов Олег Сергеевич	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТЯГИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ	95
Абляимов Олег Сергеевич	
О КОНТРОЛЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ	99
Валиев Мухаммад Шералиевич Қосимов Хусан Рахматуллаевич	

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ВЫСОКОЙ ВОДЫ ПО СЛЕДАМ ПАВОДКОВ НА ОПОРАХ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОСТОВ (НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ ПРЕДГОРНЫХ РЕК УЗБЕКИСТАНА)

Туляганов Абдукаххар Хакимович

канд. техн. наук, доцент, кафедра изысканий и проектирования автомобильных дорог,
Ташкентский Государственный Транспортный университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: bekhzodzhon@inbox.ru

Махкамов Бехзоджон Равшанович

ведущий специалист ООО «Бюро проектирования дорог»,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE LEVEL OF HIGH WATER IN THE WAKE OF FLOODS ON THE SUPPORTS OF EXISTING BRIDGES (ON THE EXAMPLE OF SMALL FOOTHILL RIVERS IN UZBEKISTAN)

Abdukahkhar Tulyaganov

PhD in Engineering, Associate Professor,
Exploration and automobile road designing department, Tashkent State Transport University,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Behzodjon Mahkamov

Leading specialist of LLC "Road engineering bureau",
Republic of Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

В статье приведены эмпирические зависимости, выходящие в вычислительную формулу определения уровня высокой воды по следам паводка на опорах мостов: скорость паводка, уклон русла, переменный показатель редукции, характеризующий максимальное возвышение гребня водной поверхности, коэффициент изменения набега ударной волны потока и переменный показатель редукции средней бытовой от максимальной скорости потока применительно к малым предгорным рекам Узбекистана.

ABSTRACT

The article presents empirical dependencies that go into the computational formula for determining the high water level following flood traces on bridge supports: flood speed, channel slope, variable reduction index characterizing the maximum elevation of the water surface ridge, the coefficient of variation of the flow shock wave and the variable reduction index of the average household from the maximum flow rate in relation to the small foothill rivers of Uzbekistan.

Ключевые слова: уровень высокой воды, дождевой паводок, опора моста, следы паводка, скорость воды.

Keywords: high water level, rain flood, bridge support, flood marks, water velocity.

Введение. В исследованиях вопроса разрушения берегов русел при разработке мероприятий по их защите от дождевых паводков практический интерес представляют сведения о максимальном уровне высоких вод. Однако, из-за отсутствия гидрометрических постов на малых временных предгорных реках, не всегда удаётся получить данные по максимальным уровням высоких вод.

В этих случаях уровень высоких вод может быть определен по следам прошедших паводков. Следы паводков могут быть [2]: 1) аккумулятивные – это отложения растительного покрова (трава, хворост), илистых образований и песка на деревьях, камнях, берегах; 2) эрозионные – резко выраженный размыв берегов, смыв продуктов выветривания и «пустынного загара» с поверхности скал, валунов и сооружений, а также зданий плывущим льдом и наносами; 3)

коррозионные метки – окраска смоченного периметра в специфический цвет в результате физико-химического воздействия воды, содержащей взвешенные и растворенные вещества, на берегах, стенах сооружений; 4) ботанические – более зеленая окраска травяного покрова в пределах затопления; 5) закрепленные отметки на дорожных мостах и трубах, зданиях, подпорных стенах набережных и других сооружениях.

По мнению многих авторов [2,5,8], последний подход в определении уровня высоких вод (УВВ) считается самым достоверным методом. Кроме того, этот метод не требует дополнительных полевых работ.

Цели и задачи работы. Целью настоящей работы явилась разработка эмпирической зависимости, выходящей в вычислительную формулу параметров по определению уровня высокой воды по следам паводка на опорах мостов применительно к малым предгорным рекам Узбекистана.

Основная часть. Переходим к изложению некоторых путей определения УВВ по следам паводков на опорах существующих мостов на примере малых предгорных рек Узбекистана.

Так, на предгорных участках рек отметка горизонтального уровня высокой воды в створе моста H_r может быть получена по формуле НИИМП-72 [3], с учетом некоторой поправки, предложенной Б.Ф. Перевозниковым, который имеет вид [5]:

$$H_r = H_{m.o} - \frac{1}{g} (0,5v_{cp}^n + \alpha_y v_{cp}^k), \quad (1)$$

где $H_{m.o}$ – наибольшая отметка набега воды на одну из опор моста; v_{cp} – средняя бытовая скорость течения воды в подмостовом русле, м/с; g – ускорение силы тяжести; n – переменный показатель редукции средней скорости, характеризующей максимальное возвышение гребня водной поверхности; α_y – коэффициент изменения набега ударной волны потока в зависимости от средней бытовой скорости; k – переменный показатель редукции средней бытовой скорости при определении максимальной ординаты высокой ударной волны.

При использовании расчетной формулы (1) величина наибольшей отметки набега воды ($H_{m.o}$) на выбранном участке реки у створа определяется по следам паводка, оставленным на одной из опор моста.

Средняя бытовая скорость течения воды (v) может быть получена по формуле Шези-Маннинга:

$$v = 1/n h^{2/3} J^{1/2}, \quad (2)$$

где $1/n$ – обратное значение коэффициента шероховатости; h – средняя глубина живого сечения потока; J – средний уклон потока.

Определение средней глубины живого сечения – h по формуле (2), требует дополнительных полевых работ по нивелированию поперечного сечения реки у створа. При этом не всегда удастся получить достоверные данные живого сечения из-за сложности определения следов уровня у берегов створа моста. В

этом случае для вычисления скорости течения целесообразно применение другого выражения:

$$v = m J^n, \quad (3)$$

где m – параметр, показывающий шероховатость русла; n – показатель степени.

Как видим, этой формуле главным фактором, определяющим величину скорости течения, является уклон. Такой вывод сделан одним из основоположников гидрологии суши Д.Л. Соколовским еще в 1968 году [4].

В 1995 году А.Ф. Шахидовым [9] по данным обработки материалов Д.Л. Соколовского предложено выражение определения скорости течения по уклону:

$$v = 3,50 J^{1/4}. \quad (4)$$

Предварительное сравнение расчетных значений скорости потока по уравнению (4) с фактическими данными показал занижение величины скорости потока в малых предгорных реках Узбекистана против фактических данных.

Нами была предпринята попытка выявления зависимости скорости течения паводка от уклона для условий малых предгорных рек Узбекистана. Для этой цели воспользовались материалами Гидрометеослужбы Республики Узбекистан и Ю.М. Денисова [1] по измерению скорости течения и уклона на малых предгорных рек исследуемой территории (рис.1).

Рисунок 1. Зависимость скорости течения паводка от уклона в малых предгорных реках Узбекистана

Полученная зависимость оказалась достаточно тесно связана с коэффициентом корреляции $r = 0,766$, что позволяет применить эту связь в практических целях. Уравнение зависимости имеет вид:

$$v = 3,66 J^{0,206}, \quad (5)$$

При отсутствии измеренных величин уклона русла, это значение может быть получено по эмпирическому выражению А.Х. Туляганова [7]:

$$J = k_J \frac{\sigma_Z}{L} = \frac{k_J}{k_L} \frac{\sigma_Z}{\sqrt{F}}, \quad (6)$$

Здесь $\frac{k_j}{k_L}$ – коэффициент пропорциональности, равный 1,79; F – площадь водосбора, определяемая по топографической карте; σ_z – среднее квадратическое отклонение высот.

$$\sigma = 0,647 \ln(Z) + 0,061, \quad (7)$$

где Z – высота водосбора.

На рис.2. представлено сравнение значений скорости течения, полученных по формулам (4) и (5). Как видно из рисунка, значение скорости течения, вычисленное по предлагаемой формуле (5), немного выше, чем величина, полученная по формуле (4), что подтверждает наше предположение о занижении расчетного значения скорости течения против фактического значения.

Рисунок 2. Сравнение расчетных значений скорости потока по формулам (4) (нижняя кривая) и (5) (верхняя кривая)

а)

б)

Рисунок 3. Следы паводков высокой воды а) у опоры моста б) в русле р. Паркентсай, село Чанги. Стрелками показаны следы паводка

Закключение.

Разработанные эмпирические зависимости, входящие в уравнение по расчету ГВВ по опорам моста, отличаются простотой и не требуют дополнительных полевых работ;

Для определения параметров v^n , a_y и v^k в расчетной формуле (1) рекомендуются эмпирические зависимости, полученные на основе связи этих значений с вычисленной скоростью течения потока:

$$v^n = 0,97 v^{0,67}, \quad (6)$$

$$a_y = -5,59 v + 9,06, \quad (7)$$

$$v^k = 0,55 v^{0,82}. \quad (8)$$

Данные для вывода этих зависимостей заимствованы из работы [6].

К сожалению, из-за отсутствия фактического значения уровня высоких вод, вычисленная величина уровня воды по следам паводка у опоры моста р. Паркентсай у села Чанги (рис.1.а) была сопоставлена с уровнями высокой воды, определенной по следам паводка оставленных в русле (рис.1.б). Сравнения уровня ГВВ дали удовлетворительные результаты.

Список литературы:

1. Денисов Ю.М. Общая структура формулы расчета максимальных расходов селевых паводков // Труды НИГМИ. - 2007. - Вып.4(249).- с.3-14.
2. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. –Л.: Гидрометеиздат, 1979.–432с.
3. Наставление по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоков. М.: Транспорт, 1972.–279 с.
4. Соколовский Д.Л. Речной сток. –Л.: Гидрометеиздат, 1968.–538 с.
5. Перевозников Б.Ф. Обобщение опыта проектирования подходов к мостам и регуляционных сооружений на автомобильной дороге в Непале. В сб. “Защита земляного полотна от горных рек” (Вып.12). М.: “Транспорт”, 1975, с.44-52.
6. Перевозников Б.Ф. Расчеты максимального стока при проектировании дорожных сооружений.-М.: “Транспорт”, 1975.-304 с.
7. Туляганов А.Х., Салимова Б.Д. Автомобиль йўлларидаги сув ўтказувчи иншоотларни лойиҳалашда сув ва сел тошқинларининг тавсифларини ҳисоблаш. Тошкент, “Iqtisod–Moliya”, 2016.–156 б.
8. Туляганов А. Х., Салимова Б. Д. Расчет дождевых максимумов при проектировании малых водопропускных сооружений (на примере рек предгорья Узбекистана) //Школа Науки. – 2019. – №. 7. – С. 3-6.
9. Шахидов А.Ф. Ёмғир тошқинларининг максимал сув сарфларини ҳисоблаш.ЎИТГМИ, Тошкент, 1995.–125 б.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ПОНЯТИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

*Назаров Шахзод Эркинович**преподаватель, Бухарский государственный университет,**Республика Узбекистан, г. Бухара**E-mail: evrikiy@list.ru*

THE CONCEPT OF E-COMMERCE

*Shakhzod Nazarov**Lecturer, Bukhara state University,**Republic of Uzbekistan, Bukhara*

АННОТАЦИЯ

Автор статьи рассматривает понятие электронной коммерции. В настоящее время можно облегчить сделки купли-продажи через службы Интернета, которые описаны в статье. Рассмотрены категории онлайн-покупателей, которых становится всё больше. Также дано понятие работы системы Web Money, позволяющей производить электронные платежи.

ABSTRACT

The author of the article considers the concept of e-Commerce. Currently, it is possible to facilitate purchase and sale transactions through Internet services, which are described in the article. The categories of online buyers, which are becoming more and more, are considered. The concept of operation of the Web Money system, which allows making electronic payments, is also given.

Ключевые слова: электронная коммерция, онлайн-продажи, продавец, покупатель, виртуальные деньги, система оплаты, электронный кошелек.

Keywords: e-Commerce, online sales, seller, buyer, virtual money, payment system, e-wallet.

Современная рыночная экономика переходит от принципа «один покупатель - несколько продавцов» к новому принципу «много покупателей - много продавцов». Различные элементы этого пространства расположены в сети, которая не связана с традиционной моделью продаж и предоставляет одному покупателю несколько поставщиков. Эти элементы собираются в единую глобальную систему через гигантский супермагазин и связывает множество покупателей со многими продавцами.

В настоящее время можно облегчить сделки купли-продажи через следующие службы Интернета:

1. Интернет-магазин.
2. Интернет-биржа.
3. Интернет-аукцион.
4. Интернет-услуги.

Технология осуществления продаж через Интернет позволяет любому потенциальному покупателю, работающему в Интернете, ознакомиться с ассортиментом услуг и товаров предпринимателя, узнать их качество и цену, произвести оплату через Интернет и доставить купленный товар, не выходя из дома [1].

Интернет-приложение, предназначенное для малого и среднего бизнеса - это специальное программное обеспечение, которое легко можно представить в виде трех блоков.

Первый блок-фронт-офис. Это то, что покупатель ищет в Интернете - выставки товаров, каталоги, наименования товаров, системы заказов, информацию о сбытовой компании и магазине.

Организация электронной коммерции должна иметь свой собственный веб-сайт или арендовать WWW-сервер (фронт-систему). С помощью Интернета мы можем связать фронт-систему с заказчиком.

Аналитики делят онлайн-покупателей на шесть категорий в зависимости от их желания соблазниться покупкой:

- «E – bivalent Newbies» (е-бивалент «чайники») - новички в сфере электронной торговли: они всегда доступны в Интернете, редко в сети, проводят там меньше времени и меньше интересуются электронной коммерцией.
- «Time» – (Sensitive Materialists - чувствительные материалисты): они делают покупки из-за удобства сети и не теряют время зря.
- Clicks & Mortar – (домохозяйки): ищут товары в Интернете, а также считают безопасными покупки в Интернете.
- «Hooked? Online&Single» («На крючке? Всегда онлайн и холост): Молодые люди, не состоящие в браке или недавно вступившие в брак мужчины,

которые имеют достаточно большие деньги. Эти группы покупают и часто скачивают игры.

- «Hunter-Gatherers» («Охотники-собиратели»): в основном люди тридцати лет, женатые, с детьми, регулярно посещающие различные сайты и предоставляющие услуги сравнения товаров.

- «Brand Loyalists» (фанаты известных брендов) - обычно посещают сайты известных и надежных продавцов. Они больше заинтересованы в электронной коммерции и проводят много времени в Интернете.

Эти группы не всегда учитываются, пользователи переходят из одной группы в другую и становятся одержимыми покупками в Интернете.

Второй блок - это бэк-офис, его видит только интернет-менеджер. Он управляет продажами через бэк-офис, добавляя или теряя новый продукт в базе данных; формирует каталог товаров; устанавливает цены и скидки на товары; предлагает своим дилерам и / или постоянным клиентам различные схемы скидок; управляет складом продукции; организует заказы и проверяет наличие на складе; обрабатывает все заказы, товары и статистику клиентов.

Третий блок хранит всю информацию о базе данных, товарах, покупках, заказах, а также логику обработки заказов на продажу и всю конфигурацию Интернет-магазина.

С развитием интернет-коммерции главным фактором становится своевременная доставка качественного товара заказчику по разумной цене. Качественная служба доставки - ключ к ведению всего бизнеса в Интернете.

Существуют следующие службы доставки товаров и услуг в Интернете:

- доставка магазина;
- почтой;
- электронная почта (информационная служба);
- информационные службы или каналы связи, при этом можно импортировать («скачать») информацию.

Большинство (94,6%) интернет-услуг - это доставка продуктов. Для этого 27% занимают почтовые каналы, 35,1% - курьерская служба, 56,8% - заказ.

Существует множество систем, позволяющих произвести электронный расчёт между продавцом и покупателем за покупку. Одной из таких систем является Web Money - это система, которая осуществляет платежи через виртуальные деньги в Интернете. Эти виртуальные деньги имеют

обращение только в Интернете. Здесь 1WM = 1 доллар. Этой валютой управляет организация под названием WM-центр. При покупке товара в сети Интернет с использованием WM эквивалентная сумма переводится со счета покупателя через сетевой банк на счет продавца. WM можно обменять на реальные деньги в любой момент [3].

Для работы с WM необходимо зайти на сайт www.Web-Money.ru и скачать программу Web-Money Keeper. При её запуске на компьютере пользователя создается виртуальный кошелек, стоимость которого составляет 0,00 WM. При пополнении его деньгами, в банк переводятся наличные и необходимая сумма перечисляется из любого банка почтой или телеграфом. Каждый кошелек уникален в системе Web-Money, он имеет 12-значный номер. При переводе денег для пополнения кошелька, отображается только номер кошелька получателя.

Что интересно в WM, это то, что эта система обеспечивает безопасность транзакций, и продавец не может использовать ее, даже когда деньги поступают на счет продавца. Продавец может использовать деньги только после того, как покупатель получит товар [3].

Еще одним удобством этой системы является возможность перевести ее на любой банковский счет или наличные в любой момент. Если счет находится в банке, участник системы WM Transfer может быстро перевести его в другой банк. Точно так же WM - это настройка банка, которая позволяет вам переводить деньги с одного кошелька на другой через условную единицу WM. Каждый WM-кошелек является банковским счетом и означает, что при переводе денег с одного кошелька на другой они переводятся с одного банковского счета на другой. Клиент является владельцем денег, а владельцем счета является веб-перевод денег. Любой клиент WM имеет возможность открыть традиционный счет в реальном банке для пополнения кошелька. Денежные переводы происходят как на WM-кошельки.

Система WM оплачивает услуги поставщика за онлайн-покупки, не требует доплаты за услугу и доставку. Кроме того, этот инструмент снижает риск возврата залога сделки, если это произойдет, с вас не будут взиматься штрафы, дополнительные расходы. Более подробную информацию об услугах системы Web Money Transfer можно найти на WebMoneyWorld.com.

Список литературы:

1. Атаева Г.И., Турдиева Г.С. Общие проблемы мировой науки// Наука образование и культура. № 3(27), 2018. С. 68-70.
2. Атаева Г.И., Ядгарова Л.Д. Оценка прикладных свойств обучающей платформы Moodle в Бухарском государственном университете// Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 6(75).
3. Бабенко Л.К. Новые технологии электронного бизнеса и безопасности / М.: Радио и связь, 2016. - 376 с.
4. Жалолов О.И., Хаятов Х.У. Понятие SQL и реляционной базы данных// Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 6(75).
5. Назаров Ш.Э., Хакимова Н.Х. Features of integration of information technologies in teaching the subject of physics// Интернаука.-2020.-№17 (146).-С.41-44.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ

Хазратов Фазлиддин Хикматович

преподаватель, Бухарский государственный университет,

Республика Узбекистан, г. Бухара

Email: evrikiy@list.ru

MODERN PROBLEMS OF INTEGRATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS AND INTERNET TECHNOLOGIES

Fazliddin Hazratov

Senior lecturer, Bukhara state University,

The Republic of Uzbekistan., Bukhara

АННОТАЦИЯ

В этой статье освещается появление новых форм информационных систем, а также концепций «данные», «информация» и «знание», которые обеспечивают научный подход к развитию и широкому использованию ГИС. Кроме того, в статье представлены знания, необходимые для использования инструментов навигации ГИС, и показано использование информационных систем как эффективного средства приобретения знаний. Взаимосвязи между понятиями «информация», «данные» и «решения», возникающие в *процессе* принятия решений, широко освещены.

ABSTRACT

This article highlights the emergence of new forms of information systems, as well as the concepts of "data", "information" and "knowledge", which provide a scientific approach to the development and widespread use of GIS. In addition, the article presents the knowledge necessary to use GIS navigation tools and shows the use of information systems as an effective means of acquiring knowledge. The relationship between the concepts of "information", "data" and "decisions" arising in the decision-making process is widely covered.

Ключевые слова: геоинформационные системы, данные, информация, знания, геоинформатика, принятие решений, программы, языки программирования, навигация, Data Mining, объект.

Keywords: geoinformation systems, data, information, knowledge, geoinformatics, decision making, programs, programming languages, navigation, Data Mining, object.

Сегодня существует большая потребность в географических информационных системах. Многие из наших исследователей работают над ГИС в этом отношении. Вкратце, ГИС используется во многих областях. Примеры: общество собственности, управление водными и земельными ресурсами. При создании ГИС основное внимание следует уделять удовлетворению потребностей пользователя. Для этого данные должны быть четкими и полными, карта должна соответствовать всем требованиям, удобный графический интерфейс пользователя должен иметь возможность увеличивать слои карты и четко отображать данные [1].

Созданные на сегодняшний день ГИС прекрасно разработаны. Примерами являются ARSGis, MAPInfo и другие системы. Эти системы обеспечивают возможность просмотра карты в 3D. Информации много, и она точная. Например, в случае города здания четко обозначены слоями, а дороги и маршруты четко обозначены. Подводя итоги систем,

можно сказать, что система идеально спроектирована, и эти системы спроектированы так, чтобы быть удобными для пользователя.

Все перечисленные выше системы имеют средства навигации, многие из которых предназначены для работы с обычными типами приемников GPS. Соответственно, эти системы обслуживают только приемники GPS, соответствующие стандарту [7].

WEB - геоинформационная система - технологические стратегии серверов.

Многие ГИС выполняют сложную обработку информации с помощью функций, перечисленных ниже. Вот эти особенности:

1. Ввод и редактирование данных;
2. Создание моделей пространственных данных;
3. Хранение информации;
4. Изменение систем координат и преобразование картографических проекций;
5. Реализация растрово-векторных операций;
6. Проведение измерительных операций;
7. Проведение полигональных операций;

8. Выполнение операций пространственного анализа;

9. Использовать различные формы пространственного моделирования;

10. Цифровое моделирование и анализ рельефов;

11. Вывод результатов разными способами.

Как работает ГИС: ГИС посвящена географической информации. Такой простой и плавный подход проявился во множестве реальных проблем. Например, движение и материалы транспортных средств, задачи моделирования процесса циркуляции атмосферы [8].

Каждый фрагмент информации хранит информацию о географическом положении объекта. Он содержит географические ссылки или другие координаты, или ссылку на адрес, почтовый индекс, выделенный район или населенный пункт, идентификаторы земли или лесного участка или В именах и т. д. хранится различная информация. Эта процедура используется для автоматического использования ссылки на местоположение или объект (ы). Эта процедура называется геокодированием.

Мультимедиа как идея

Программное обеспечение может использовать любой пользователь для удовлетворения своих потребностей. Систему также можно использовать для решения разных задач в разных сферах. В частности, его можно в полной мере использовать в таких областях, как транспорт, железные дороги, авиалинии, деградация земель. Это моя основная цель при создании программы дешовое и качественное обслуживание клиентов. Вам не нужно приобретать дополнительный GPS-приемник, чтобы использовать это приложение. А телефоны Android сегодня доступны почти всем нам. В дальнейших планах - расширение возможностей системы, ее дальнейшее совершенствование и внедрение по всей стране [9].

Мультимедийное оборудование

При создании навигационных систем вам в первую очередь потребуется база данных для хранения данных. Потому что вся информация, отображаемая на карте, хранится в базе данных. Для этого мы должны сначала выбрать систему управления базами данных (СУБД) перед созданием системы навигации.

Их слишком много. В качестве примеров нам нужно взять несколько распространенных типов. Например, SQLServer, Oracle, MySQL, SQLite и другие. Выбор одной из этих систем остается за каждым. Потому что все эти системы могут выполнять одну и ту же функцию [5].

Второй шаг - создать удобный графический пользовательский интерфейс. Для этого вам необходимо создать программный инструмент. Чтобы создать инструмент программирования, вам необходимо выбрать язык программирования. Выбор программы зависит от возможностей программиста. Сегодня существует множество языков программирования. Самые популярные из них: C #, Java, Delphi, C, C ++. Программа может быть создана в двух системах: Windows и Web.

Понятия «данные», «информация» и «знания» различаются по содержанию, несмотря на многие общие черты. Данные относятся к известным фактам об объектах или результатам измерений, выполненных на этих объектах. Данные, используемые в ГИС, характеризуются высокой степенью формализации. Информация получается путем обработки данных, поэтому данные можно рассматривать как строительный блок при формировании информации.

В ГИС информация определяется как набор данных, который определяет размер наших знаний об объекте. В этом смысле значением информации считается знание об объекте. Знания в целом - это результат познания истины, подтвержденной на практике.

Информация в ГИС относится к набору данных, который определяет размер наших знаний об объекте. В этом смысле значением информации считается знание об объекте. Знания в целом - это результат познания истины, подтвержденной на практике.

Научное знание характеризуется структурой, достоверностью и высоким уровнем сформированности. Информационные системы можно рассматривать как эффективное средство получения знаний. Различия между терминами «данные», «информация», «знания» можно проиллюстрировать развитием технических систем, то есть сначала были банки данных, затем сформировались информационные системы,

Затем появились интеллектуальные (экспертные) системы, основанные на знаниях. В настоящее время на рынке программных продуктов широко распространены пространственно-распределенные информационные системы, включая системы автоматического проектирования, автоматического картирования и ГИС. Он имеет более совершенные инструменты для анализа пространственных данных, чем ГИС и другие автоматизированные системы.

Мультимедийные продукты

Географическая информационная система ArcGIS - это простая в использовании информационная программа для доступа и использования географической информации. ArcGIS - это программа с большим потенциалом для картирования, изучения, идентификации данных и анализа пространственных данных. Принцип работы ArcGIS следующий и они предназначены для выполнения следующих задач:

- набор картографических данных, создание и редактирование карт;
- группировка, визуализация и дизайн карт;
- создание серийных и тематических карт;
- Пространственный и статистический анализ географических и семантических данных;
- геокодирование;
- обработка базы данных;
- Перенос, печать и т.д. картографических отчетов и заключений на принтер / плоттер или графические файлы. ArcGIS можно широко использовать для работы с пространственными данными и их анализа. Главной особенностью программы является ее простота в табличной форме, хорошее понимание и

анализ файлов dBASE и данных из базы данных сервера.

Список литературы:

1. Акашева А.А. Использование геоинформационных технологий. Учебно- методическое пособие. Нижний Новгород. 2011 г. 80 с.
2. Анаьев Ю.С. Геоинформационные системы. Учебное пособие. Томск. 2003 г. 70 с.
3. Атаева.Г.И., Турдиева Г.С. Общие проблемы мировой науки// Наука образование и культура. № 3(27), 2018. С. 68-70.
4. Варфоломеев И.В., Эрмакова И.Г., Савалев А.С. Структурирование данных и алгоритмы в геоинформационных системах. Методическое пособие. Красноярск. 2003 г. 36 с.
5. Жалолов О.И., Хаятов Х.У Понятие SQL и реляционной базы данных.// Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2020. № 6(75).
6. Капралов Э.Г., Кошкарлов А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика, Москва. 2005 г. 468 с.
7. Самардак А.С. Геоинформационные системы, Владивосток. 2005 г. 124 с.
8. Шипулин В.Д. Основные принципы геоинформационных систем, Харьков. 2010 г. 336 с.
9. Khazratov F., Juraev Kh. METHODS OF CREATION AND ORGANIZATION OF WORK, TECHNOLOGY FOR CREATING AUTO-NAVIGATION MAPS [Электронный ресурс]: URL: <http://www.jcreview.com/?mno=9704>

К ФОРМУЛИРОВКЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Абляимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
 «Локомотивы и локомотивное хозяйство», Ташкентский государственный транспортный университет,
 Узбекистан, г. Ташкент
 E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

TO FORMULATION OF MATHEMATICAL METHODS FOR OPTIMAL SOLUTIONS

Oleg Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
 Tashkent state transport university,
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Приводятся основные положения математической теории оптимального управления и постановка общей задачи оптимизации с учётом критерия эффективности организации перевозочного процесса.

ABSTRACT

The main provisions of the mathematical theory of optimal control and the formulation of a general optimization problem are given, taking into account the criterion of the effectiveness of the organization of the transportation process.

Ключевые слова: исследование, оптимизация, метод, принцип максимума, принцип оптимальности, решение, выбор, режим, теория.

Keywords: investigation, optimization, method, maximum principle, optimality principle, decision, choice, mode, theory.

Среди крупных достижений современной математики, получивших широкое применение и дающих высокую эффективность, особое место занимает математическая теория оптимальных процессов, в которой обозначались два основных направления, опирающихся на принцип оптимальности Р. Беллмана [1] и принцип максимума Л.С. Понтрягина [2].

На основании вышеуказанных работ, основные положения общей теории оптимизации представляются в следующем виде.

Фазовые координаты, того или иного объекта (поезда и пр.), определяющие его положение и состояние можно выразить вектором объекта

$$O = (O', \dots, O^n) \quad (1)$$

где $O', \dots, O^n$ - координаты вектора объекта в n -мерном фазовом пространстве.

Некоторая часть координат вектора O определяет положение объекта в пространстве и времени, что выразим вектором положения $\Pi = (\Pi', \dots, \Pi^n)$, а другая часть будет определять состояние объекта $C = (C', \dots, C^n)$.

Таким образом, имеем $O = (\Pi, C) = (\Pi', \dots, \Pi^n, C', \dots, C^n)$.

Изменение фазовых координат объекта происходит под воздействием управляющих факторов, которые можно выразить через вектор управления или режима, то есть

$$P = (P', \dots, P^r) \quad (2)$$

где $P', \dots, P^r$ - координаты вектора управления (режима) в r -мерном пространстве.

Возможное изменение вектора P описывается векторной функцией $P(O_a) = P'(O_a), \dots, P^r(O_a)$, что также можно записать $P_T = (P'_T, \dots, P^r_T)$

где O_a - та или иная координата вектора O , принимаемая за аргумент;

P_T - вектор траекторий управления (режима).

Во многих практических задачах координата O_a относится или к координате, выражающей путь S , или время t .

Линия, описываемая фазовой точкой (объектом) в фазовом пространстве, является фазовой траекторией, которую можно выразить зависимостью через ту или иную фазовую аргументную координату вектора, то есть $O(O_a)$ или $O(O_a) = \{O'(O_a), \dots, O^n(O_a)\}$, что также можно записать $O_T = (O'_T, \dots, O^n_T)$.

Пара векторных функций $O(O_a)$ и $P(O_a)$ определяет ход процесса, то есть изменение фазовых координат объекта.

Процесс полностью определится, если заданы начальное состояние $O_o = O_o(O_a)$ и управление $P(O_a)$ при $O_a \neq O_{ao}$. Выбирая различные $P(O_a)$ можно получить множество процессов, а затем выбрать наилучший (наивыгоднейший). Общей задачей оптимизации является отыскание оптимального процесса, то

есть $O^*(O_a)$ и $P^*(O_a)$ в пределах заданного изменения вектора $O_a = O^i$, обеспечивающего наибольшую эффективность процесса, что обосновывается максимальной величиной выигрыша B .

За параметр выигрыша B может быть принята та или иная координата вектора O на рассматриваемом участке, то есть $B = O^b$ которую выбирают исходя из целенаправленности и сущности рассматриваемого явления.

Координаты вектора O имеют n -мерное пространство, а координаты вектора P являются r -мерными. Наглядное изображение объекта в общем случае является весьма сложным.

Можно применить приём изображения текущих координат объекта в зависимости от предшествующих координат, то есть $O^i(O^{i-1}) = \{O^i(O^0), O^2(O^1), \dots, O^n(O^{n-1})\}$, что наглядно представлено на рис. 1. Однако, в ряде случаев применяют "плоское" изображение фазового процесса, в этом случае $O(O_a) = \{O^1(O_a), \dots, O^n(O_a)\}$, что представлено на рис. 2 и является удобным и часто применимым в практических условиях.

Поскольку параметр B является одной из координат вектора O , то общую функциональную связь можно записать в следующем виде

$$B = B\{O_i, P(O_a)\} \quad (3)$$

Рисунок 1. Объёмная фазовая траектория n -мерного вектора объекта ($n = 5$)

Для выявления аналитического выражения (3) необходима знать закон изменения координат вектора O (то есть закон движения фазовой точки и фазовом пространстве с учётом воздействия управляющего параметра) и закон выбора траектории вектора управления, что является наиболее сложным.

Список литературы:

1. Беллман Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман. - М.: Иностранная литература, 1960, 400 с.
2. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. - М.: Наука, 1983, 393 с.
3. Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Текст] / Л. С. Понтрягин. - М.: Наука, 1974, 331 с.

Рисунок 2. Плоская фазовая траектория n -мерного вектора объекта ($n = 5$)

Часто закон изменения координат вектора объекта описывается дифференциальными уравнениями, дающими выражения производных от фазовых координат через сами фазовые координаты и управляющие параметры, что запишется в векторной форме так

$$\dot{O} = f(O, P) \quad (4)$$

или системой уравнений

$$\begin{aligned} \dot{O} &= f^1(O^1, \dots, O^n, P^1, \dots, P^r) \\ \dot{O}^n &= f^n(O^1, \dots, O^n, P^1, \dots, P^r) \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $f(O, P)$ - вектор, координатами которого являются правые части системы (5). Система уравнений (5) может быть решена, если известен закон изменения вектора управления $P(O_a)$, что позволит, решая аналитическое выражение системы (5), получить интегральные зависимости $O(O_a)$, а затем и величину параметра B согласно аналитической зависимости (3).

Задание управления $P(O_a)$ и начального фазового состояния O_0 однозначно определяют фазовую траекторию $O(O_a)$ при $O_{a0} \neq O_{a1}$. Сказанное вытекает из теоремы о существовании и единственности решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений [5].

Таким образом, задача оптимизации при решении аналитического выражения (3) заключается в выборе таких траекторий $O(O_a)$ и $P(O_a)$, при которых будет получено оптимальное значение параметра выигрыша B^* для реализации чего применяются различные принципы и методы, сущность и особенности которых будут раскрыты автором в последующих исследованиях.

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Абляимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
 «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский государственный транспортный университет,
 Узбекистан, г. Ташкент
 E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

ABOUT DECISION OF OPTIMIZATION PROBLEM BY THE METHOD OF DYNAMIC PROGRAMMING

Oleg Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
 Tashkent state transport university,
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Приводится теоретическое обоснование метода динамического программирования, основанного на критерии оптимальности Р. Беллмана и алгоритм реализации этого математического метода в решении задачи оптимизации, связанной с выбором оптимального режима ведения грузового поезда локомотивами дизельной тяги на виртуальном участке железной дороги.

ABSTRACT

The theoretical substantiation of the dynamic programming method based on the R. Bellman optimality criterion and the algorithm for the implementation of this mathematical method in solving the optimization problem associated with the choice of the optimal mode of driving a freight train by diesel - powered locomotives on a virtual section of the railway are given.

Ключевые слова: исследование, оптимизация, метод, динамическое программирование, принцип оптимальности, решение, выбор, режим, теория.

Keywords: investigation, optimization, method, dynamic programming, optimality principle, decision, choice, mode, theory.

Метод динамического программирования основан на двух гипотезах [3] - о наличии оптимального процесса при переходе объекта из начального состояния O_0 в некоторое конечное O_1 и наличии непрерывности всюду, кроме точки O_1 и дифференцируемости функции $B(O)$ в частных производных, то есть

$$\frac{\partial B}{\partial O^1}, \frac{\partial B}{\partial O^2}, \dots, \frac{\partial B}{\partial O^n}$$

Из рассмотрения процесса перехода из точки O_0 фазового пространства в точку O_1 с учётом промежуточного состояния $O(O_a)$ можно получить

$$\frac{B\{O(O_a)\} - B\{O(O_{a0})\}}{O_a - O_{a0}} \leq 1 \quad (1)$$

А затем, переходя к пределу при $O_a = O_{a0}$ находим

$$\frac{d}{dO_a} B\{O(O_a)\} \leq 1 \quad (2)$$

Производная левой части аналитического выражения (2) действительно существует, так как функции $B(O)$ и $O(O_a)$ дифференцируемы и вычисляются по формуле полной производной, а именно:

$$\frac{d}{dO_a} B\{O(O_a)\} = \sum \frac{\partial B\{O(O_a)\}}{\partial O^i} \cdot \dot{O}^i(O^i)$$

и неравенство (2) принимает такой вид

$$\sum \frac{\partial B\{O(O_a)\}}{\partial O^i} f^i(O_0, P_0) \leq 1$$

Точки O_0 и P_0 были взяты произвольно, поэтому для любой точки O фазового пространства и любой точки P в области возможных управлений, то есть для $P \in P_y$ выполняется соотношение

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial B\{O(O_a)\}}{\partial O^i} f^i(O, P) \leq 1 \quad (3)$$

Если взять оптимальный процесс $O(O_a), P(O_a)$ перевода объекта из O_o в O_1 и $O_o \leq O^i \leq O_1^i$, учитывая вышеизложенное, получим следующие равенство

$$\sum \frac{\partial B(O_a)}{\partial O^i} f^i \{O(O_a), P(O_a)\} = 1, O_o \leq O^i \leq O_1^i \quad (1.9)$$

Вводя в рассмотрение функцию

$$A(O, P) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial B(O)}{\partial O^i} f^i(O, P) \quad (4)$$

Получим

$$A(O, P) \leq 1 \quad (5)$$

для всех точек $O \neq O_1$ и P

$$A\{O(O_a), P(O_a)\} \equiv 1 \quad (6)$$

для любого оптимального процесса $O(O_a), P(O_a)$.

Для $O_a = O_{ao}$ получим $A(O_o, P(O_{ao})) = 1$; в сопоставлении с неравенством (6) получим соотношение $\max A(O, P) = 1$ для любой точки $O \neq O_1$ или что тоже самое

$$\max \sum \frac{\partial B(O)}{\partial O^i} f^i(O, P) = 1 \quad (7)$$

для любой точки $O \neq O_1$.

Соотношение (7) называется уравнением Ричарда Беллмана. Метод динамического программирования (ДП) или что то же самое (7) содержит некоторую информацию об оптимальных процессах и поэтому может быть использован для их отыскания.

Однако применение этого метода требует нахождения не только оптимальных управлений $P(O_a)$, но и функций $B(O)$, так как эта функция входит в соотношение (7), а само уравнение Беллмана представляет собой уравнение в частных производных относительно функции B , осложнённой ещё знаком максимума. Главным же недостатком этого метода является предположение о возможности выполнения вышеуказанных гипотез, хотя оптимальные управления и функции B нам заранее неизвестны. Указанные выше гипотезы содержат предположение о неизвестной функции, а проверить выполнение этих гипотез по уравнениям движения объекта невозможно.

Кроме того, после решения оптимальной задачи методом динамического программирования не всегда оказывается, что функция $B(O)$ действительно является непрерывно дифференцируемой, в связи с чем применение изложенного метода становится необоснованным. Однако, во многих случаях, методом динамического программирования можно пользоваться, как эвристическим средством с применением численных методов решения, что и было сделано в работах [4-7 и другие].

Ниже приводим методику и результат решения задачи по выбору оптимального режима вождения грузовых поездов тепловозами серии ЗТЭ10М на виртуальном участке железной дороги протяженностью 37,5 километров с учётом исходных данных,

обозначенных в [1], а именно: масса состава грузового поезда $Q = 3750$ т, нагрузка на ось колёсной пары $q_o = 20,0$ т/ось и время хода грузового поезда по участку $t_x = 38,5$ мин.

Решение поставленной задачи осуществляем графическим методом [2], опираясь на принцип оптимальности [3], из которого вытекает, что независимо от способа, приводимого объект в данное начальное состояние, дальнейшее его поведение должно быть оптимальным относительно первоначального состояния и управления.

Тогда, условие оптимальности процесса по выбору режима ведения поезда для N -го шага варьирования упомянутого режима можно записать в виде

$$E_n^0(V_{n-1}) = \min_u [E_n(u, V_{n-1}) + E_{n+1}^0(V_n)] \quad (8)$$

где E – эффективность процесса, то есть расход натурального дизельного топлива тепловозом на шаге варьирования режима ведения поезда, кг.

Для расчёта допустимую область фазовых координат (S, V) каждого перегона заданного участка пути разбиваем на узловую решётку, в которой допустимый диапазон скоростей движения представляем в виде скоростной сетки с шагом варьирования по скорости движения $\Delta V = 5 \dots 10$ км/ч.

Допустимый диапазон по координате путь S – в виде сетки, разделённой на шаги варьирования режимов l_n , равные длине элемента профиля пути.

Расчёт начинаем с конца заданного участка пути на последнем N -м шаге варьирования режимов. Из каждой начальной точки узловой решетки N -го шага строим траектории с попаданием в конечную точку узловой решетки этого же N -го шага с координатами (S_k, V_k) , подсчитываем величину расхода топлива (критерий оптимальности) E для всех траекторий N -го шага. Запоминаем величину критерия оптимальности E и позиции контроллера машиниста, соответствующие этим траекториям. Затем из начальных точек узловой решетки $N-1$ -го шага строим траектории с попаданием в конечные точки узловой решетки этого шага, что будет идентично начальным точкам узловой решетки $N-1$ -го шага и, далее, подсчитываем величину расхода топлива E для всех траекторий $N-1$ -го шага. Траектории, полученные на $N-1$ -м и N -м шаге, удовлетворяющие условию оптимальности (7), оставляем и соответственно, запоминаем критерий оптимальности (расход топлива) E и позиции контроллера машиниста для вновь полученной условно – оптимальной траектории. Аналогичным образом выполняем расчёты на последующих шагах варьирования режимов и получаем столько условно – оптимальных траекторий, сколько точек в «базовой» узловой решётке фазовых координат (S, V) . Затем, в качестве оптимальной траектории (режима ведения поезда) для всего перевозочного процесса в целом и на каждом шаге варьирования, принимаем ту, которая имеет минимальное значение критерия оптимальности E и удовлетворяет условию выполнения времени хода поезда по перегонам (в противном случае, весь процесс расчёта повторяется вновь).

В процессе решения поставленной задачи и сказанного выше автором были получены следующие значения параметров оптимального режима ведения грузового поезда на участке съёта: касательная механическая работа локомотива $A_k = 2576,5$ кН км, затраты механической работы на торможения $A_t = 466,3$ кН км и общий расход натурального дизельного топлива (критерий оптимальности) $E = 243,7$ кг. При этом показатели, характеризующие оптимальный режим ведения грузового поезда, составили: $\eta = 0,302$ -

к.п.д. силовой цепи; $\alpha = 1,08$ - показатель совершенства траектории скорости движения; $\beta = 0,181$ - показатель затрат энергии на торможения.

В результате проведённого исследования автором изложено теоретическое толкование одного из математических методов оптимального управления – динамическое программирование и показан пример практической реализации этого метода при выборе оптимального режима вождения грузовых поездов тепловозами серии 3ТЭ10М на виртуальном участке железной дороги.

Список литературы:

1. Абляимов О.С., Кудряшов В.С., К исследованию режимов вождения грузовых поездов электровозами [Текст] / О. С. Абляимов, В. С. Кудряшов // IX межвузовская научно - практическая конференция ТашИИТ / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 2011. – С. 35 – 38.
2. Абляимов О. С. О методах исследования перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Республиканская научно – техническая конференция с участием зарубежных учёных, посвящённая 80-летию ТашИИТ «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 2011. – С. 79 – 85.
3. Беллман Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман. - М.: Иностранная литература, 1960, 400 с.
4. Босов А. А. Методы решения некоторых задач оптимальных тяговых расчётов на ЭЦВМ. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. ДИИТ, Днепропетровск, 1968.
5. Ерофеев Е. В. Определение оптимального режима движения поезда при заданном времени хода [Текст] / Е. В. Ерофеев // «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1969, № 1. – С. 54 – 57.
6. Почаевец Э. С. Расчёт оптимальных программ автоматического ведения поезда. Автореферат на соискание учёной степени кандидата технических наук. МИИТ, М., 1967.
7. Сидельников В. М. Выбор оптимальных режимов управления локомотивом с использованием ЭЦВМ [Текст] / В. М. Сидельников // Научный журнал «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1965, № 2. – С. 52 – 58.

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА МАКСИМУМА

Абляимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
 «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский государственный транспортный университет,
 Узбекистан, г. Ташкент
 E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

ABOUT SOLUTION OF THE OPTIMIZATION PROBLEM ON THE BASED OF THE MAXIMUM PRINCIPLE

Oleg Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
 Tashkent state transport university,
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Приводится теоретическое толкование математического метода оптимального управления с учётом принципа максимума Л. С. Понтрягина и решение задачи оптимизации по обоснованию оптимального режима работы силовой энергетической установки тепловозов ЗТЭ10М в эксплуатации.

ABSTRACT

The theoretical interpretation of the mathematical method of optimal control, taking into account the maximum principle of L. S. Pontryagin, and the solution of the optimization problem to substantiate the optimal operating mode of the power plant of ЗТЭ10М diesel locomotives in operation are given.

Ключевые слова: исследование, оптимизация, метод, принцип максимума, принцип оптимальности, решение, выбор, режим, теория.

Keywords: investigation, optimization, method, maximum principle, optimality principle, decision, choice, mode, theory.

Данные исследования проводились параллельно с работами [1,2] и являются их логическим продолжением, цель которых состоит в решении задачи по выбору оптимального режима ведения грузового поезда с массой состава $Q = 3750$ т и нагрузкой на ось $q_o = 20,0$ т/ось тепловозами ЗТЭ10М на виртуальном участке железнодорожного пути со временем в пути следования подвижного состава равным $t_x = 38,5$ мин.

Прежде чем говорить о практической составляющей поставленной цели исследований раскроем основные положения принципа максимума, разработанного школой Л. С. Понтрягина [5,6], так как огромное внимание исследователей привлекает возможности применения принципа максимума для решения задач оптимизации движения поезда.

Основные положения принципа максимума заключаются в следующей теореме.

Предположим, что для рассматриваемого управляемого объекта, описываемого уравнением в векторной форме

$$\dot{O} = f(O, P), P \in P_y \quad (1)$$

и предписанного конечного состояния O_1 выполняются две вышеуказанные гипотезы [2,4], а также

третья гипотеза о наличии для функции $B(O)$ при $O = O_1$ вторых непрерывных производных $\frac{\partial^2 B(O)}{\partial O^i \partial O^j}$, $i, j = 1, 2, \dots, k$, а функции $f^i(O, P)$ - первых непрерывных производных $\frac{\partial f^i(O, P)}{\partial O^i}$, $i = 1, 2, \dots, m$.

Пусть $P(O_a)$, $O(O_a)$, $O_{a0} \leq O_a \leq O_{a1}$, некоторый процесс, переводящий объект из начального состояния O_o в состояние O_1 .

Введем в рассмотрение функцию H , зависящую от переменных $O', \dots, O^n, P', \dots, P^r$ и некоторых вспомогательных переменных $\psi_1, \dots, \psi_n$, а $\psi_1 = \frac{\partial B(O(O_a))}{\partial O^1}, \dots, \psi_n = \frac{\partial B(O(O_a))}{\partial O^n}$, то есть

$$H(\psi, O, P) = \sum_{i=1}^n \psi_i f^i(O, P) \leq 1 \quad (2)$$

С помощью этой функции H запишем следующую систему дифференциальных уравнений для вспомогательных переменных, а именно:

$$\dot{\psi}_k = \frac{\partial H(\psi, O(O_a), P(O_a))}{\partial O^k}, k = 1, \dots, n \quad (3)$$

где $O(O_a)$, $P(O_a)$ - рассматриваемый процесс.

Тогда, если процесс $O(O_a), P(O_a), O_{ao} \leq O_a \leq O_{a1}$ является оптимальным, то существует такое нетривиальное решение $\Psi(O_a) = \{\Psi_1(O_a), \dots, \Psi_n(O_a)\}$ $O_{ao} \leq O_a \leq O_{a1}$ системы (С), что для любого момента $O_{ao} \leq O_a \leq O_{a1}$ выполнено условие максимума

$$H\{\psi(O_a), O(O_a), P(O_a)\} = \max H\{\psi(O_a), O(O_a), P\} \quad (4)$$

и условие

$$H\{\psi(O_a), O(O_a), P(O_a)\} = 1$$

В приведенном виде принцип максимума страдает теми же недостатками, что и метод динамического программирования (даже предполагалось двукратное дифференцирование).

По форме метод динамического программирования [4] и принцип максимума здесь выведены как необходимое условие оптимальности - если процесс оптимален, то выполнены соотношения (7) [2] и соответственно (4), то есть выполнение этих условий необходимо для оптимальности.

Следует отметить, что эти условия выведены лишь в предположении выполнения вышеуказанных гипотез, а их выполнение - отнюдь не необходимо для оптимальности. Вот почему сформулированные выше теоремы не могут считаться необходимыми условиями оптимальности.

Однако, если в принципе максимума [6] решение $\psi(O_a)$ и условие максимума (4) рассматривать на всем отрезке $O_{ao} \leq O_a \leq O_{a1}$ (а не только при $O_{ao} \leq O_a < O_{a1}$), а заключительное условие $H\{\psi(O_a), O(O_a), P(O_a)\} = 1$ заменить более слабым требованием

$$H\{\psi(O_a), O(O_a), P(O_a)\} \geq 0 \quad (5)$$

Тогда в этой форме принцип максимума будет справедлив без каких бы то ни было предположений о функции параметра выигрыша B , то есть принцип максимума станет весьма удобным и широко применимым условием оптимальности (что имеет отдельное доказательство [5]).

Сегодня, полученные результаты решения задач по оптимизации перевозочной работы локомотивов на основе принципа максимума носят весьма общий характер и пока не могут быть использованы в практических условиях.

Цель следующего этапа исследования состоит в практическом использовании принципа максимума при решении задачи оптимизации перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М на виртуальном участке счёта для заданных условий [3] организации грузового движения и перевозки железнодорожных различных по типу и структуре грузов.

С учётом сказанного выше, исходя из принципа максимума [6], в каждой точке траектории движения объекта значение гамильтониана H должно быть минимальным.

Поэтому, изначально, для заданных условий задачи [3] составляют гамильтониан H , то есть

$$H = -B_q + \Psi_1 \cdot \xi \cdot f' + \Psi_2 V \quad (6)$$

где B_q - часовой расход топлива, кг/ч;

ψ_1, ψ_2 - вспомогательные переменные;

ξ - ускорение движения поезда; км·кН/ч²·Н;

f' - удельная равнодействующая сила поезда, Н/кН.

Вспомогательные переменные ψ_1 и ψ_2 определяют из сопряженной системы дифференциальных уравнений, дифференцируя гамильтониан H по частной производной фазовых координат (S, V) , а именно:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \frac{dH}{dV} = \Psi_1 \cdot \xi \cdot \frac{\partial f'}{\partial V} + \Psi_2 - B_q \quad (7)$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{dH}{dS} = 0 \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что $\psi_2 = \text{const} = \lambda$, поэтому условие оптимальности процесса для N -го шага варьирования составляет величину

$$E_N^O = \min_u (\Psi_{NH} \xi \cdot f'_{NH} + \lambda V_{NH} - B_q) \quad (9)$$

где E - эффективность процесса, которая характеризуется величиной расхода натурального дизельного топлива тепловозом за поездку, кг.

Здесь значения величин с индексом « N » относятся к началу шага варьирования режимов.

Предлагаем следующий алгоритм определения оптимальной траектории движения поезда:

- задаются начальными значениями фазовых координат (S, V) и вспомогательными переменными (ψ, λ) на первом шаге варьирования режимов;
- подсчитываются значения выражения (9) при различных позициях контроллера машиниста, соблюдая заданные условия [3] и все другие ограничения;
- по режиму, обеспечивающему выполнение условия (9), строится оптимальная траектория скорости движения V и траектория вспомогательной переменной ψ на первом шаге варьирования режимов;
- конечные значения фазовых координат (S, V) и вспомогательных переменных (ψ, λ) первого шага варьирования принимаются начальными для последующего второго шага варьирования и далее производятся расчёты, аналогичные вышеизложенным, для второго шага и т.д.

Для нашего случая решения задачи по выбору оптимального управления движением поезда с учётом принятых автором допущений, когда вспомогательные переменные $\psi_1 = \text{const}$ и $\psi_2 = \lambda = 0$ [3], условие оптимальности для N -го шага варьирования будет соответствовать выражению

$$E_N^O = \min_u (\Psi_{NH} \xi \cdot f' - B_q) \quad (10)$$

В результате решения поставленной задачи оптимизации принципом максимума получены следующие

щие значения оптимальных параметров для тепловозов 3ТЭ10М на виртуальном участке железнодорожного пути: касательная механическая работа локомотива $A_k = 2517,8$ кН км, затраты механической работы локомотива на торможения $A_t = 470,8$ кН км и полный расход натурального дизельного топлива (критерий оптимальности) $E = 238,5$ кг. А показатели, характеризующие оптимальную траекторию движения грузового поезда, составили: $\eta = 0,303$ - к.п.д. силовой цепи; $\alpha = 1,10$ - показатель совершенства траектории скорости движения; $\beta = 0,187$ - показатель затрат энергии на торможения.

В заключении следует отметить, что использование принципа максимума связано с необходимостью дифференцирования и наличия непрерывных функций в исследуемой области, что во многих случаях решения задач по оптимизации перевозочной работы локомотивов не имеется, поэтому использования рассмотренного автором принципа не дает полного и удобного для практики решения. Все это заставляет продолжать исследования с целью разработки новых и удобных приёмов и методов для практического решения задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов.

Список литературы:

1. Абляимов О.С. К формулировке математических методов оптимальных решений [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10619> (дата обращения: 26.08.2020).
2. Абляимов О. С. О решении задачи оптимизации методом динамического программирования [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10620> (дата обращения: 26.08.2020).
3. Абляимов О. С. О методах исследования перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Республиканская научно – техническая конференция с участием зарубежных учёных, посвящённая 80-летию ТашИИТ «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 2011. – С. 79 – 85.
4. Беллман Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман. - М.: Иностранная литература, 1960, 400 с.
5. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления. [Текст] / В. Г. Болтянский. - М.: Наука, 1969, 408 с.
6. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко - М.: Наука, 1983, 393 с.

К МЕТОДУ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ

Абляимов Олег Сергеевич

*канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство», Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com*

TO THE METHOD FOR SOLVING THE OPTIMIZATION PROBLEM OF THE TRANSPORTATION WORK OF LOCOMOTIVES

Oleg Ablyalimov

*Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Приводится анализ метода решения задачи по оптимизации перевозочной работы локомотивов. Показана несостоятельность метода динамического программирования для практического использования в эксплуатации.

ABSTRACT

The analysis of the method for solving the problem of optimizing the transportation work of locomotives is given. The inconsistency of the dynamic programming method for practical use in operation is shown.

Ключевые слова: исследование, оптимизация, метод, динамическое программирование, решение, выбор, режим, теория.

Keywords: investigation, optimization, method, dynamic programming, optimality principle, decision, choice, mode, theory.

Передвижение поездов является основным производственным процессом, связанным с созданием продукции транспорта, от которого во многом зависит производительность железной дороги. Удельный вес затрат по передвижению поездов колеблется от 50 до 75 % всех расходов железнодорожного транспорта.

Процесс перевозочной работы локомотивов (ПРЛ) включает цепь преобразований, связанных с механикой, энергетикой и экономикой, при этом в конкретных условиях того или иного участка появляются свои специфические особенности этих преобразований, влияющие на результаты. Только детальные расчёты с учётом всех факторов, влияющих на результаты перевозочной работы локомотивов, позволяют выявить истинные закономерности процесса, чему способствует применение ЭВМ и специальных разделов математики.

В результате стало возможным приступить к решению широкого круга вопросов по оптимизации перевозочной работы локомотивов (ОПРЛ) с разработкой математических моделей процессов последней. Известно, что математическое обеспечение требует большого внимания и поглощает до 50 процентов расходов на решение задач, но это быстро окупается за счёт достижения более совершенных решений и улучшение процесса расчётов.

Рассмотренные автором общие положения теории оптимизации процессов [1-3] позволяют наметить порядок решения поставленной конкретной задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов, как одного практически важного технического вопроса.

Комплекс соответствующих координат поезда (объекта) можно, помимо указанного представления в [1], объединить в дополнительные группы. Некоторая часть координат O будет характеризовать материальную базу процесса (M_0), другая часть организацию работ (O_p), а оставшаяся часть координат – результаты процесса – продукцию (P_p) и затраты (Z). Кроме этого, из координат объекта можно выделить такие, которые при решении являются определёнными, известными и заданными в виде дискретных значений или определённых зависимостей. Эта группа координат определяет условия протекания процесса и называется координатами условий (Y). Оставшаяся часть координат (P_0) может принимать соответствующие значения по ходу расчетов также как и траектория режима управления, то есть быть независимыми переменными или управляющими факторами, принимая при правильном решении оптимальные значения.

Принятое позволяет записывать координаты поезда следующим образом

$$O = (M_0, O_p, P_p, 3) \quad (1)$$

$$\text{а также} \quad = (Y, P_0) \quad (2)$$

В свою очередь

$$M_0 = [S, H, H_{\phi}, N_k(V, p_k), F_k(V, p_k), G(V, p_k), g_x, w_0(V, q_0), i_k(S), V^{or}(S), X_c(S), \dots] \quad (3)$$

$$O_p = (Q, m, t_n, t_c, Z, \dots) \quad (3 \text{ а})$$

$$P_p = (QL, QL^y, \Gamma, \dots) \quad (3 \text{ б})$$

$$Z = (t, E, \Delta x, \Delta \Gamma, M_{\text{л}}, M_{\text{в}}, \dots) \quad (4)$$

$$Y = (M_0, O_p, P_p, \dots) \quad (5)$$

$$P_0 = (O - Y) \quad (6)$$

В выражениях (1) – (6) обозначено: S – пройденный поездом путь; H – изменение положения центра тяжести поезда по вертикали; H_{ϕ} – изменение положения центра тяжести поезда по горизонтали, за счёт кривых или равносильное изменение от фиктивного подъёма по вертикали; $N_k(V, p_k)$ – мощность локомотива в зависимости от скорости V и позиции контроллера машиниста (режима) p_k ; P_0 – вес (масса) локомотива; $F_k(V, p_k)$ – касательная сила тяги локомотива в зависимости от скорости V и позиции режима p_k ; $G(V, p_k)$ – расход энергии в единицу времени в зависимости от скорости V и позиции режима p_k ; g_x – расход энергии в единицу времени при холостом ходе поезда и на стоянках; $w_0(V, q_0)$ – основное удельное сопротивление поезда в зависимости от скорости V и нагрузки на ось q_0 ; $i_k(S)$ – зависимость величины приведённого подъёма от пути; $V^{or}(S)$ – зависимость допустимой скорости движения поезда от пути; $X_c(S)$ – зависимость абсцисс осей раздельных пунктов от пути; Q – вес (масса) состава; m – число осей в составе; t_n – время движения поезда по перегону; t_c – время стоянок поезда на промежуточных станциях; t – общее время движения поезда на участке; QL – перевозочная работа локомотива за поездку; Γ – заданный годовой грузопоток на участке; E – расход энергии (дизельного топлива или электроэнергии) на участке; Δx – расход денежных средств по передвижению поезда на участке; $\Delta \Gamma$ – годовые, приведённые, народно – хозяйственные затраты на участке; $M_{\text{л}}$ и $M_{\text{в}}$ – затраты локомотивов и вагонов на участке; z – число остановок.

Любая из координат O может иметь соответствующие ограничения её величины, что указывается в условиях задачи.

В сложной цепи расчётов величина выигрыша V зависит при сложившихся условиях работы на участке от выбора независимых переменных, то есть УФ, оптимальные траектории которых (УФ*) определяет и параметр V^* . В качестве независимых переменных могут быть соответствующие траектории координат P_0 и обязательно соответствующие траектории режима управления P_T , оптимальное значение которой должно соответствовать оптимальной траектории и оптимальным координатам P_0^* .

Если же все координаты вектора O уже приняты, то оптимальное решение будет соответствовать оптимальным траекториям O_T^* и P_T^* .

Таким образом, имеем

$$V = V(P_0, O_T, P_T) = V(Y, \Phi) \quad (7)$$

где $(Y, \Phi) = (P_0, O_T, P_T)$ – вектор траекторий управляющих факторов, включающий векторы P_0 , O_T и P_T .

Особенностью координат P_0 является их неизменность на выбранном шаге расчётов, иначе говоря на шаге оптимизации, тогда как, координаты P_T будут изменяться по соответствующим зависимостям.

Решением задачи оптимизации будет выбор соответствующих оптимальных значений $Y\Phi^*$, то есть

$$\begin{matrix} P_0^* \\ V^* \rightarrow Y\Phi^* \rightarrow O_T^* \\ P_T^* \end{matrix} \quad (7)$$

Если оптимизируется комплекс координат P_0 , то при решении будем иметь соответствие

$$V^* \rightarrow (P_0^*, \dots, P_T^*) \rightarrow O_T^*, P_T^* \quad (8)$$

Таким образом, при оптимизации элементов M_0 и O_p им должны соответствовать свои оптимальные траектории O_T^* и P_T^* . Если элементы M_0 и O_p не оптимизируются, то решение состоит в отыскании O_T^* , P_T^* и тогда будет соответствие

$$V^* \rightarrow O_T^*, P_T^* \quad (9)$$

Таким образом, в любых случаях необходим выбор оптимальных траекторий объекта O_T и режима управления P_T , что и является основным вопросом решения задачи оптимизации (ЗО). Выбор из всех возможных траекторий оптимального варианта, позволит найти параметр выигрыша V^* и решить поставленную задачу. Следует иметь в виду, что в общем случае зависимость $V(O_T, P_T)$ в соответствии с условиями задачи оптимизации может быть без экстремального, одно и многоэкстремального вида.

Координаты УФ являются независимыми переменными функционала, определяющего параметр V. При решении задачи оптимизации необходимо в определенной области расчёта "пробегать" участок счёта для возможного множества траекторий УФ, что в принципе делают:

а) простым перебором всех возможных комбинаций координат УФ, что обычно связано с просчётом огромного числа вариантов и практически невыполнимо, иногда даже с применением ЭВМ;

б) просчётом ограниченного числа вариантов, определяемого принятым их порядком просчёта, описываемого некоторой функцией управления (f_y) принятой на основе специальных исследований. Наметив, исходя из сущности принципа и принятого метода выбора оптимальных решений, а также особенностей рассматриваемого процесса, то есть K_0 , можно решать задачу оптимизации при ограниченном числе вариантов, то есть использовать направленный поиск решения.

Разрешение исходного выражения (3) [1] в первую очередь требует иметь общую схему выполнения расчётов для выявления значений координат объекта при выбранной той или иной траектории режима управления, а затем наметить соответствующую f_y выбора O_t и P_t на основе принятых принципов и методов.

Расчёты, связанные с отысканием интегральной зависимости $O(O_a)$ основаны на решении системы дифференциальных уравнений вида (5) [1], составленных на основании физических законов в рассматриваемой задаче.

Система дифференциальных уравнений, описывающих процесс перевозочной работы локомотивов, включает уравнения динамических характеристик, а именно:

$$\frac{dV}{dt} = V \quad (9 \text{ а})$$

$$\frac{dV}{dt} = \zeta u = \zeta \varphi(V, n_y, i_k) \quad (9 \text{ б})$$

и уравнения, связывающие координаты состояния, в том числе параметра B с режимом, например, для расхода энергии имеем

$$\frac{dV}{dt} = G(V, n_k) \text{ и подобные им}$$

Для решения вопросов перевозочной работы локомотивов необходимо найти решение (9 б), которые определяет результаты расчета всех координат O .

Дифференциальное уравнение движения поезда (9 б) запишем в другом виде

$$\frac{dV}{dS} = \frac{\zeta u}{V} = \frac{\zeta \varphi(V, n_y, i_k)}{V} \quad (10)$$

В приведённых выше выражениях принято: dS/dt - производная пути по времени (скорость); dV/dt - производная скорости по времени (ускорение); dV/dS - производная скорости по пути; $u = (V, n_y, i_k)$ - равнодействующая сила, являющаяся функцией V , позиции управления n_y и профиля пути i_k . Величина V зависит от ряда факторов и от траектории режима управления P_t ; ζ - коэффициент пропорциональности.

Решение уравнения (10) даёт возможность получить траекторию $V(S)$, а затем и другие координаты процесса перевозочной работы локомотивов, то есть значения t , E , и другие.

Так, например, по уравнениям

$$dt = \frac{dS}{\zeta \int_{s_1}^{s_2} \frac{\varphi(V, n_y, i_k)}{V} dS} \quad (11)$$

$$dE = \frac{G(V, n_y) dS}{\zeta \int_{s_1}^{s_2} \frac{\varphi(V, n_y, i_k)}{V} dS} \quad (12)$$

находить зависимости времени и расхода энергии от пройденного пути.

Общую схему выявления координат вектора поезда при выбранном режиме управления P_t , которую будем называть тягово - экономическими расчётами (ТЭР), можно представить последовательностью представленной на рис. 1.

Рисунок 1. Схема тягово - экономических расчётов на шаге оптимизации

Дополнительно на схеме ТЭР обозначено: W_k - суммарное (основное и дополнительное) сопротивление поезда; B_T - тормозная сила поезда; A_k - касательная механическая работа локомотива; A'' - механическая работа сил сопротивления состава; A' - механическая работа сил сопротивления локомотива; A_T - механическая работа сил торможения; E_k - расход энергии на создание механической работы локомотива; t_{in}^i - текущее значение времени хода поезда по перегону; t_{in} - заданное (расчётное) время хода по пе-

регону, которое должно быть выдержано; B_k -- слагаемая величина B , связанная с преобразованиями доли B во внешнюю работу; $B_{в-}$ слагаемая B , зависящая от времени процесса.

Уравнение (10) приходится решать численными методами, например, методом Эйлера [6]. Решение (10) в принципе не представляет затруднений при известной траектории P_t , однако заметим, что значения скорости в указанном уравнении необходимо брать в зависимости от принятого P_t , то есть будем иметь

$I[n_y(S)]$ и решение усложняется, так как должна быть известна P_T или что то же, зависимость $n_y(S)$.

Как было сказано выше, для решения (3) [1] должен быть принят порядок выявления оптимальных траекторий P_T^* и O_T^* , что выполняется на основе соображений, условно нами названных комплексом оптимизации (K_o), включающего принятый принцип и метод отыскания соответствующих решений.

Аналитическое отыскание B^* и соответствующих O_T^* и P_T^* для задач оптимизации перевозочной работы локомотивов почти невозможно из-за наличия значительной по объёму исходной информации, ряда ограничений координат поезда (скорости, времени и прочее), при этом огромное количество возможных вариантов P_T затрудняет применение методов вариационного исчисления и принципа максимума, даже в численном виде. К этому приходят и ряд исследователей [5,8]. Однако имеется ряд приёмов облегчающих этот выбор, основу которого составляет идея направленного поиска с учётом метода динамического программирования [5,7,8,9], значительно сокращающего число перебираемых вариантов управления.

Основные недостатки в решении задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов, опираясь на метод динамического программирования, сводятся к следующему:

1. Для участков безостановочной работы локомотивов длиной $L = 150 - 200$ км надо запоминать очень большой объём промежуточной информации, что значительно затрудняет ход расчётов. Определенную трудность представляет необходимость выбора всех возможных состояний в конце предшествующего шага расчёта.

2. Определённая неясность и трудность правильного выбора числа и величины шагов расчёта, а также соответствующих вариантов траекторий управления, также приводит к значительному увеличению объёма вычислений.

Как уже отмечалось выбор шага расчёта, то есть этапирования решения имеет большое значение. Если весь процесс разделить на небольшие шаги, то их число будет значительным, а число вариантов управления на таких шагах может быть умеренным (число комбинаций режима легче ограничить). Однако необходимо будет запоминать огромную промежуточную информацию на большом числе шагов, и решение задачи удаётся в редких случаях. При относительно крупных шагах расчёта, на каждом шаге увеличивается число вариантов траекторий управления, а это приводит к тому же результату, делая в ряде случаев решение задачи практически невыполнимым.

3. Просчёты начинаются с последнего шага на участке счёта и проводятся в прямом направлении с последующим переходом на предшествующий шаг, а затем на следующий шаг от конца и т.д. После перехода всех шагов, начатых с конца участка, расчёты ведут вновь с первого шага, вперёд по ходу процесса. Эта огромная расчётная работа для значительных по длине участков и сложных по содержанию параметра B будет особенно громоздкой.

4. Отыскание условно - оптимальных траекторий производится или простым перебором, или направленным поиском, что приводит при уже отмеченной громоздкости вычислений к определенным и неточностям решений.

В итоге, как показал опыт проведения расчётов на основе метода динамического программирования [2,4 и другие], затрачивается большое машинное время, а решение задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов является далеко не законченным и малоприменимым для использования в практике работы локомотивного комплекса железных дорог.

Таким образом, исследования по разработке новых и удобных для практического использования приёмов и методов в решении задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов необходимо продолжить.

Список литературы:

1. Абляимов О.С. К формулировке математических методов оптимальных решений [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10667> (дата обращения: 27.08.2020).
2. Абляимов О. С. О решении задачи оптимизации методом динамического программирования [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10670> (дата обращения: 27.08.2020).
3. Абляимов О. С. О решении задачи оптимизации на основе принципа максимума [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10671> (дата обращения: 27.08.2020).
4. Абляимов О. С. О методах исследования перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Республиканская научно – техническая конференция с участием зарубежных учёных, посвящённая 80-летию ТашИИТ «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 2011. – С. 79 – 85.
5. Босов А. А. Методы решения некоторых задач оптимальных тяговых расчётов на ЭЦВМ. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. ДИИТ, Днепропетровск, 1968.
6. Демидович Б. П. Численные методы анализа: приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения [Текст] / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова // Учебное пособие. 3-е изд., перераб. - М.: Наука, 1967. - 368 с.

7. Ерофеев Е. В. Определение оптимального режима движения поезда при заданном времени хода [Текст] / Е. В. Ерофеев // «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1969, № 1. – С. 54 – 57.
8. Почаевец Э. С. Расчёт оптимальных программ автоматического ведения поезда. Автореферат на соискание учёной степени кандидата технических наук. МИИТ, М., 1967.
9. Сидельников В. М. Выбор оптимальных режимов управления локомотивом с использованием ЭЦВМ [Текст] / В. М. Сидельников // Научный журнал «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1965, № 2. – С. 52 – 58

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ

Абляимов Олег Сергеевич

*канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство», Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com*

ABOUT SOLUTION OF THE OPTIMIZATION PROBLEM OF THE TRANSPORTATION WORK OF LOCOMOTIVES

Oleg S. Ablyalimov

*Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Анализируется метод решения задачи оптимизации при помощи принципа максимума. Обоснована условно – оптимальная траектория, которая является составной частью искомой оптимальной траектории управления.

ABSTRACT

The method for solving the optimization problem using the maximum principle is analyzed. The conditionally optimal trajectory, which is an integral part of the desired optimal control trajectory, has been substantiated.

Ключевые слова: исследование, оптимизация, метод, динамическое программирование, решение, выбор, режим, теория, принцип максимума.

Keywords: investigation, optimization, method, dynamic programming, optimality principle, decision, choice, mode, theory, maximum principle.

Одной из особенностей задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов является необходимость выявления оптимального решения по параметру B , связанного многоступенчатой зависимостью с координатами положения и управления на участках значительной протяженностью. Указанные, а также и другие обстоятельства заставляют применять пока только численные методы с использованием ЭВМ. Принятый при этом порядок решения должен быть основан на определённой системе выраженной комплексом оптимизации K_0 . Можно опробовать различные K_0 и выбрать наилучший. В процессе решения поставленной задачи было опробовано два K_0 , из которых первый [2] обеспечивал частичную оптимизацию. Второй K_0 обеспечивает полную оптимизацию на выбранном шаге оптимизации (ШО), а также на участке счёта и выбран как основной, рекомендуемый для использования.

Общая постановка задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов формулируется следующим образом. Имеем поезд (объект), фазовые координаты которого описываются вектором, включающим координаты положения и состояния $O = (P, C)$. Необходимо переместить поезд с начальными координатами O_0 в новое положение с фазовыми координатами O_1 , выбрав при этом ведение процесса таким

образом, чтобы определённая координата или некоторый вектор, принадлежащий вектору объекта O и определяющих выигрыш B , принимал бы оптимальное значение ($\max B$ или $\min B$) с соблюдением положенных ограничений. Эта цель может быть достигнута при условии применения соответствующего оптимального управления, а в общем случае, соответствующего оптимальных траекторий координат управляющих факторов (УФ).

Таким образом, необходимо $O_0 = (P_0, C_0)$ переместить в $O_1 = (P_1, C_1)$ так, чтобы иметь $B^* \rightarrow \text{УФ}^*$.

Для упрощения процесса будем пользоваться "плоским" фазовым пространством [1] с аргументной координатой (осью) O_a . Учитывая, что на шаге оптимизации ШО координата или вектор $P_0 = \text{пост}$, а меняться будет O_t и P_t (которые должны соответствовать данному P_0) можно зависимость изменения параметра B на шаге оптимизации выразить так

$$B(O_a) = [O(O_a), P(O_a)] \quad (1)$$

Эту зависимость можно выявить, если знаем закон изменения процесса объекта, используя описание его, системой дифференциальных уравнений, выразив производные от фазовых координат через сами фазовые координаты и траектории управляющих параметров.

Для поставленной задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов траектория режима управления заранее нам неизвестна, она может быть выявлена лишь в процессе решения задачи, в связи с чем, необходимо определить общую стратегию отыскания траектории управления.

Общую стратегию решения задачи можно выявить, используя принцип максимума, как это, например, сделано в работе [3], основные положения которой приводим ниже.

Приняты траектории координат вектора поезда

$$\begin{aligned} O'(t) \\ O(t) = O^2(t) \\ O^3(t) \end{aligned} \quad (2)$$

где $O'(t)$ - координата пути;

$O^2(t)$ - координата скорости;

$O^3(t)$ - координата времени.

Регулируемой величиной считают [3] ускорение a , которое плавно регулируется между небольшим ускорением для тяги a_p и наибольшим замедлением при торможении a_t .

В анализе берут нормированное ускорение $a = a_p / a_t$, значения которого находятся в пределах

$$-1 \leq a \leq \frac{a_p}{a_t} \quad (3)$$

Условие минимизации расхода энергии на тягу, при условии задания времени хода по перегону t_n = пост, записано в соответствии с рекомендацией Коалса

$$E_k = \int_0^{t_n} \frac{1}{2} \cdot (a \rightarrow |a|) O^2 dt \quad (4)$$

и задача формулируется так: необходимо найти такую функцию a , которая при условии минимизации интеграла (4) переводила бы вектор фазовых координат поезда $O(t)$ из заданного положения O_n в конечное O_k положение, учитывая при этом соответствующие ограничения условий по скорости и ускорению движения поезда.

Необходимое для решения проблемы уравнение движения поезда

$$m = \frac{dQ^2}{dt} + CO^2 = Ka \quad (5)$$

где m - масса поезда,

CO^2 - сопротивление движению поезда, принимаемое пропорциональным скорости, то есть величина C = пост;

Ka - сила тяги или торможения, принимаемая пропорциональной ускорению, то есть K = пост;

Приняв $C / m = K / m$, а также выразив $O^2(t) = dO'(t) / dt$ вместо (5) будет

$$\frac{dQ^2(t)}{dt} = -Q^2(t) + a(t) \quad (6)$$

Принимая далее в целях упрощения, наличие остановки поезда на конечной станции, можно, поместив начало отсчёта координат в точке соответствующей этой станции получить

$$O'(t) = O^2(t) = 0 \quad (7)$$

что вместе с ограничением скорости образует систему ограничений для $O'(t)$ и $O^2(t)$:

$$\begin{aligned} 0 \leq O^2(t) \leq V^{or} \\ O'(t) \leq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Для координаты времени, отсчёт времени ведут как разницу между заданным временем прибытия на конечную станцию и текущим временем, то есть

$$O^3(t) = t_n - t \quad (9)$$

Вектор текущего фазового состояния поезда при движении по участку является трёхмерным

$$\begin{aligned} O'(t) \\ O(t) = O^2(t) \\ t_n - t \end{aligned} \quad (10)$$

и в конечном пункте он равен

$$\begin{aligned} 0 \\ O(t) = 0 = 0 \\ 0 \end{aligned} \quad (11)$$

В соответствии с принципом максимума оптимальной является такая траектория $O(t)$, которая максимизирует гамильтониан

$$H = \sum \lambda_i O_i - \varphi_0(O, a) \quad (12)$$

где $\varphi_0(O, a) = 0,5(a + |a|)O^2 dt$, а вспомогательные переменные λ_i должны удовлетворять системе дифференциальных уравнений в частных производных

$$\frac{d\lambda_i}{dt} = - \left(\frac{\partial \varphi_1}{\partial O^i} \cdot \lambda_1 + \frac{\partial \varphi_2}{\partial O^i} \cdot \lambda_2 + \frac{\partial \varphi_3}{\partial O^i} \cdot \lambda_3 \right) + \frac{\partial \varphi_0}{\partial O^i} \quad (13)$$

В этой системе $\varphi_k = dO^k/dt$, причем i и k могут независимо друг от друга принимать значения 1, 2 и 3.

Применяя соотношения (4), (6) и (7), можно выражение (13) переписать

$$\frac{d\lambda_1}{dt} = 0; \frac{d\lambda_2}{dt} = -\lambda_1 + \lambda_2 + \frac{1}{2}(a + |a|); \frac{d\lambda_3}{dt} = 0 \quad (14)$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} \lambda_1(t_n) = -\mu = \lambda_1(t); \lambda_2(t_n) = \\ = -\lambda_2; \lambda_3(t_n) = -\mu_3 = \lambda_3(t) \end{aligned} \quad (15)$$

где коэффициенты μ_1 , μ_2 и μ_3 необходимо отыскать.

С учётом систем (3) и (8) можно гамильтониан H (12) переписать, а именно:

$$H = (-\mu_1)O^2(t) + \lambda_2(t)[-O^2(t) + a(t)] - (-\mu_3) - \frac{1}{2}[a(t) + |a|(t)]O^2(t) \quad (16)$$

Откуда следует, что максимум гамильтониана H совпадает с максимумом, зависящим от a и O^2 частичной суммы, то есть

$$\lambda_2 a - \frac{1}{2}(a + |a|) \cdot O^2 \quad (17)$$

Рассматривая ограничения по a и O^2 , соответствующие выражения (3) и (8), получим закон оптимального управления в функции от вспомогательной переменной

-1 для $\lambda_2 < 0$ (служебное торможение);
 $[-1; 0]$ для $\lambda_2 = 0$ (сингулярное решение 1);

$$0 \text{ для } 0 < \lambda_2 < O^2 \text{ (выбег);} \quad (18)$$

$[0; a_p / a_T]$ для $\lambda_2 = 0$ (сингулярное решение 2);
 a_p / a_T для $\lambda_2 > O^2$ (пуск с максимальным ускорением)

Из (18) следует, что оптимальная стратегия управления включает режим разгона с максимальным ускорением, выбег и торможение с максимальным замедлением, а также решения для переменных $\lambda_2 = 0$ и $\lambda_2 = O^2$, при которых значения ускорения являются неопределенными и рассматриваются как сингулярные решения.

Изложенное содержание работы [3], основанной на ряде упрощений (например, сила тяги принята

пропорциональной ускорению и другие) всё же даёт рекомендации по выбору оптимальной стратегии решения, которые нами использованы при разработке нового метода решения.

Аналогичные выводы можно сделать из анализа выражения, определяющего удельный (на тонну веса поезда) расход l_k энергии для создания касательной механической работы силы тяги, то есть

$$l_k = a_E \int_0^{t_n} \frac{f_k(O^2)}{\eta(O^2)} O^2 dt = \min \quad (19)$$

После ряда преобразований выражение (19) приводится к виду

$$l_k = a_E \int_0^{t_n} \left[\frac{f_k(O^2)}{\eta(O^2)} \cdot \int_{O_0}^{O_1} \zeta \frac{f(O^2 - w(O^2))}{O^2} dO' \right] dt = \min \quad (20)$$

Минимизация выражение (20) - $l_k = 0$ достигается при $f(O^2) = 0$, то есть при холостом ходе.

Из сказанного следует, что в идеальном случае, движение на холостом ходу является рациональным решением, к которому необходимо по возможности стремиться.

В разработанном методе решения поставленной задачи выявляется указанная траектория, как условно - оптимальная, которую необходимо считать составной частью искомой оптимальной траектории управления.

Список литературы:

1. Абляимов О.С. К формулировке математических методов оптимальных решений [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10667> (дата обращения: 28.08.2020).
2. Толкачев А.В. Факторы, управляющие выбором технологии ведения и времени хода поездов [Текст] / А. В. Толкачев // Тр. ТашИИТ, вып. 53 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 1968. – С. 53 – 61.
3. Hozh Peter «Über die Anwendung des Maximum Prinzips von Pontrjagin zur Ermittlung von Algorithmen für line energie optimule Zugstouerung». Wissz Hochsch. Verkehrs Duden, 1971, 18 № 4, 919 - 934 (немец.). Экспресс информация «Техническая эксплуатация подвижного состава и тяга поездов», № 29, 9.VIII.1972.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ

Аблялимов Олег Сергеевич

*канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство»,
Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail : o.ablyalimov@gmail.com*

JUSTIFICATION OF THE METHOD FOR SOLVING OPTIMIZATION PROBLEM TRANSPORTATION WORK OF LOCOMOTIVES

Oleg Ablyalimov

*Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Обоснованы основные положения метода динамического пошагового программирования, целью которого является выбор (расчёт) оптимального режима ведения поезда локомотивами в реальных условиях эксплуатации.

ABSTRACT

The main provisions of the method of dynamic step-by-step programming are substantiated, the purpose of which is to select (calculate) the optimal mode of driving a train by locomotives in real operating conditions.

Ключевые слова: исследование, оптимизация, метод, динамическое программирование, решение, выбор, режим, теория, принцип максимума.

Keywords: investigation, optimization, method, dynamic programming, optimality principle, decision, choice, mode, theory, maximum principle.

В работе [1] приводится общая постановка и даётся формулировка задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов, в которой с учётом исследований [2] была показана несостоятельность решения этой задачи существующими, классическими математическими методами оптимального управления – динамическое программирование и принцип максимума.

Настоящие исследования направлены на обоснование основных положений принятого автором метода решения поставленной задачи, связанной с оптимизацией перевозочной работы локомотивов.

Решение задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов возможно, если выполняется следующая гипотеза 1. Для любой отличной от O_1 точки фазового пространства существует оптимальный процесс перехода из точки O_0 в точку O_1 , который может быть суммой аддитивных оптимальных решений на соответствующих N - шагах оптимизации.

В силу этой гипотезы полагаем возможным вести процесс расчёта сразу не на всём участке, а лишь в пределах соответствующего шага оптимизации (ШО).

В силу сказанного имеем следующее:

$$B^* = B_0 + \sum_{i=1}^N B_i^* \quad (1)$$

Выражение (1) проще для реализации, чем условие оптимальности Р. Беллмана [4-6]

$$B^* = B_0 + \text{опт} \sum_{i=1}^N B_i \quad (2)$$

По смыслу условия оптимальности Р. Беллмана требуется от любого достигнутого состояния с полученным B_0 , вести далее процесс на всём оставшемся отрезке с оптимальной суммой выигрыша. Оба условия (1) и (2) в принципе обеспечивают решение поставленной задачи, но условие (1) является более простым для выполнения.

Будем также предполагать, что для рассматриваемого объекта выполняется гипотеза 2. Если в пределах шага оптимизации (ШО) с наличием соответствующих ограничений координат объекта применить одинаковый режим управления, то при различных начальных фазовых состояниях объекта в пределах ШО могут достигаться одинаковые конечные состояния.

Гипотеза 2 основана на наличии разной интенсивности изменения фазовых траекторий состояния

объекта, для принятого одинакового режима, при неодинаковых начальных состояниях объекта и наличии соответствующих ограничений состояния, конечные состояния объекта в таких случаях всегда будут одинаковыми, что позволяет находить их и при отсутствии данных о начальных координатах объекта. Это служит основанием для выбора величины шага оптимизации ШО.

Использование приведённых выше гипотез облегчает возможность нахождения на шаге оптимизации оптимального управления, так как для такого случая на i -м (текущем шаге) может быть записано такое выражение

$$B_i^* = B_i^*[C_{H_{i+1}}^o, O_{T_i}^*(P_{T_i}^*)] \quad (3)$$

где $C_{H_{i+1}}^o$ - условно – оптимальное состояние объекта вначале $i + 1$ -го шага оптимизации;

$O_{T_i}^*$ и $P_{T_i}^*$ - оптимальные траектории вектора объекта и вектора режима на i -м шаге оптимизации.

Выражение (3) вытекает из положения о том, что оптимизация процесса может полностью завершиться на шаге оптимизации, для которого известны оптимальное управление и конечное условно - оптимальное фазовое состояние, что позволяет оптимизировать процесс на всём участке. Отметим, что использование того или иного принципа оптимальности может приводить к выводам об общей направленности решения.

Так, аналитические исследования изыскания возможностей по оптимизации процесса движения поезда на основе принципа максимума [7] привело к выводу о необходимости быстрого выхода процесса от начального состояния к ведению процесса с наибольшим выигрышем, а затем уже продолжение его в этих условиях и быстрый перевод из этого состояния в конечное состояние. Однако такие полезные рекомендации для их реализации требуют применение и соответствующего метода отыскания конкретных решений.

В данной работе задача оптимизации перевозочной работы локомотивов решается нами на основе метода, который условно назван "динамическим пошаговым программированием" (ДПП).

Основные особенности метода ДПП следующие:

1. Шаг оптимизации (ШО) выбирается с учётом возможности осуществления законченной пошаговой оптимизации согласно условию (1).

2. Решение задачи начинается с первых двух по ходу процесса ШО, на которых просчёты выполняют вначале от конца к началу, а затем от начала к концу. Просчёты на $i + 1$ -м ШО проводят только от конца к началу ШО и имеют целью выявить условно - оптимальное состояние объекта вначале $i + 1$ -го ШО, к которому на первом i -м ШО стремятся в прямом счёте, и которое будет "желательным" конечным состоянием на i -м шаге оптимизации.

3. В процессе расчётов на шаге оптимизации строят условно - оптимальную траекторию (УОТ) с использованием управления, обеспечивающего получение условно - оптимального выигрыша, от уже

известного конечного на i -м ШО "желательного" по условиям ведения процесса на последующем шаге оптимизации состояния $C_{H_{i+1}}^o$.

4. Затем, строят реально - оптимальную траекторию на текущем i -м ШО с возможно быстрым переходом на условно - оптимальную траекторию. В результате на каждом ШО используют все возможности ведения процесса как можно ближе к УОТ с выходом на эту траекторию, где удаётся, так как УОТ является условно – экстремальной для некоторых условий ведения процесса.

Учитывая (7) [2] общее решение (3) [3] можно записать

$$B_i^* = \text{опт } B_i(\text{УФ}) - \text{УФ} \in P_y \quad (4)$$

или через функцию управления

$$B_i^* = \text{опт } f_y(P_o, P_y, P_\Delta, P_\kappa, \dots) - n_i \in P_o \quad (5)$$

где P_o - управляющий параметр выбора координат вектора объекта;

P_y - управляющий параметр выбора траектории координат вектора объекта;

P_Δ, P_κ - управляющие параметры выбора траектории режима управления;

P_o - допустимая область параметров управления.

Выявление смыслового содержания указанных управляющих параметров и соответствующего содержания f_y , является главным вопросом метода динамического пошагового программирования (ДПП) и может быть выполнено при рассмотрении конкретной задачи.

Рассмотрим решение задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов, в которой необходимо минимизировать функционал

$$B_i = \int \frac{\dot{B}_t dS}{\dot{S}_t} \quad (6)$$

где $\dot{B}_t$ – производная параметра выигрыша B по времени;

$\dot{S}_t$ – производная пути по времени (скорость).

Величина производной параметра выигрыша B по времени $\dot{B}_t = e[V, n_y(S)]$ – является характеристической функцией объекта (локомотива).

Например, для тепловозов такой характеристикой может быть удельный расход топлива G_t , кг/мин.

Величину производной пути по времени $\dot{S}_t = V$ находят решением интеграла

$$V = \int \tilde{V}_s dS \quad (7)$$

где $\tilde{V}_s = \frac{\zeta \{V u[n_y(S), n_y(S)]\}}{V[n_y(S)]}$ - производная скорости по пути;

u - равнодействующая сила, зависящая от скорости и позиции управления;

ζ - некоторый коэффициент пропорциональности.

Решение выражения (7) необходимо производить для любой выбранной траектории управления $n_y(S)$, поэтому получим $V[n_y(S)]$.

Область протекания процесса может иметь ограничения фазовых координат

$$\left. \begin{aligned} S_n \leq S \leq S_k \\ V_m(S) \leq V(S) \leq V^{ог}(S) \\ t^r - \Delta t_r \leq t(S) \leq t^r + \Delta t_r \\ \tau_m \leq \tau(S) \leq \tau^{ог} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При этом индексы «н» и «к» относятся к начальному и конечному значениям; индексы «м» относятся к нижнему, а «ог» к верхнему пределам индекса «г» для заданного графиком движения значений; допустимая погрешность времени Δt_r .

Траектории режима управления также ограничены и находятся в некоторой заданной области P_y , то есть

$$\left. \begin{aligned} P'_m(S) \leq P'(S) \leq P^{ог}_l(S) \\ P'_m(S) \leq P'(S) \leq P^{ог}_r(S) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Задача оптимизации сводится к получению наибольшего эффекта при условии протекания процесса в области ограниченной условиями (8) и (9), а также обеспечения заданных начальной (O_n) и конечной (O_k) координатах вектора объекта.

В качестве оценки траектории управления выбран функционал (6).

Решение можно свести к следующему выражению

$$B_i^* = \text{опт} \int_{S_{ni}}^{S_{ki}} \frac{b\{V[n_y(S)], n_y(S)\} dS}{\int_{S_{ni}}^{S_{ki}} \frac{u\{V[n_y(S)], n_y(S)\}}{V[n_y(S)]} dS} \quad (10)$$

Для упрощения решения выражения (10) весь процесс на текущем i -м шаге оптимизации расчленим на периоды:

а) рабочего хода, для которого имеем:

ТРХ - траектория рабочего хода с соответствующей траекторией управления $n_k(S)$;

$b_p = b_k(V, n_k) + b_{cl}(n_k)$ - характеристическая функция при рабочем ходе;

Здесь b_k - характеристика мощности потока параметра B , идущего на внешнюю работу процесса; b_{cl} - мощность потока параметра B , идущего на служебные нужды;

$S_{ni} - S_{kp}$ - пределы интегрирования, где S_{kp} - координата конца рабочего хода;

$B_{pi} = B_{ki} + B_{cli} = \int_{S_{ni}}^{S_{kp}} \frac{b_k + b_{cl}}{V} dS$ - величина слагаемой параметра B_i для периода рабочего хода.

Здесь: B_{ki} - слагаемая, связанная с внешней работой процесса, зависящая от комплекса условий процесса на участке, времени процесса и позиций управления; B_{cli} - слагаемая B_i , зависящая от расходов на служебные нужды;

б) холостого хода, для которого будет:

ТХХ - траектория холостого хода с траекторией управления $n_x(S)$;

$b_x = b_{cl}(n_x)$ - характеристическая функция для холостого хода;

$S_{np} - S_{kk}$ - пределы интегрирования от конца рабочего хода S_{np} до конца холостого хода S_{kk} ;

$B_{xi} = \int_{S_{kp}}^{S_{kk}} \frac{b_{cl} dS}{V}$ - слагаемая величины B_i , выявленная за период холостого хода.

в) торможения:

ТТХ - траектория тормозного хода с траекторией управления $n_t(S)$;

$b_t = b_{cl}(n_t)$ - характеристическая функция при торможении;

$S_{kk} - S_{ki}$ - пределы интегрирования от конца холостого хода S_{kk} до конца шага оптимизации (S_{ki});

$B_{ti} = \int_{S_{kk}}^{S_{ki}} \frac{b_{cl} dS}{V}$ - слагаемая величины B_i , выявленная на участке торможения.

Для рассматриваемого шага оптимизации получим:

реально - оптимальную траекторию;

$$POT = TPX + TXX + TTX \quad (11)$$

пределы интегрирования;

$$S_{ni} - S_{ki} = (S_{ni} - S_{kp}) + (S_{kp} - S_{kk}) + (S_{kk} - S_{ki}) \quad (12)$$

возможные значения характеристической функции;

$$\left. \begin{aligned} b \rightarrow b_p = b_k + b_{cl} \\ |b_x = b_{cl} \\ b_t = b_{cl} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Параметры выигрыша на шаге оптимизации ШО

$$B_i = B_{ki} + B_{cli} + B_{xi} + B_{ti} = B_{ki} + B_{bi} \quad (14)$$

Здесь $B_{bi} = B_{cli} + B_{xi} + B_{ti} = b_0 \cdot t$ - слагаемая B_i , зависящая только от времени процесса t при условии принятия $b_c = b_{cl} = b_x = b_t = \text{пост.}$, что обычно имеет место в практических условиях.

Выявление C_{ni+1}^0 и P_{ti}^* на шаге оптимизации ШО производится на основании следующих соображений.

Анализируя ход процессов можно заметить, что $B_{xi} > 0$, $B_{ti} \geq 0$, $B_{ki} \geq 0$.

В случаях, когда $B_{ki} = 0$ и $B_{ti} = 0$ будет наименьшая величина параметра $B - \min B = B_i^0 = B_{xi}$.

Величина B_{xi} реализуется для условно - оптимальной траектории (УОТ), построенной при $n_x(S) = \text{пост.}$, которая является единственной траекторией при этом. Построение УОТ производится в направлении обратном ходу процесса. Для $i+1$ -го ШО строят УОТ _{$i+1$} от некоторой конечной координаты S_{kl} до известной начальной S_{ni+1} и определяют фазовую координату объекта C_{ni+1}^0 , которой обычно является скорость V_{ni+1}^0 . Построения УОТ _{$i+1$} позволяют выявить единственную условно - оптимальную начальную для $i+1$ -го ШО координату V_{ni+1}^0 , при которой обеспечивается получение наибольшего выигрыша и на последующем $i+1$ -м ШО, а следовательно и на двух

смежных шагах оптимизации ШО, что является достаточным основанием для выполнения расчётов по выражению (1).

Построение УОТ_{i+1} позволит определить и протяжённость соответствующего ШО, точнее предел интегрирования $S_{ki+1} = S_{kn}$ по условию

$$V_{ni+1}^0(S_{ni+1}) = \int_{S_{kn}}^{S_{ni+1}} \tilde{V}_s dS = \text{пост.} \quad (n = 1, \dots, i+1) \quad (15)$$

Если дополнительно соблюдается также условие выбора некоторой начальной скорости (координаты)

$$V_{ym}(S_{kn}) \leq V_{kn}^0(S_{kn}) \leq V^{ог}(S_{kn}) \quad (16)$$

Последовательно принимая $S_{kn} = S_1, S_2, \dots$ и производя расчёты по (15) для двух значений $V_{kn}^0 = V_{ym}$ и $V_{kn}^0 = V^{ог}$, можно найти такое значение $S_{ki+1} = S_{kn}$, при котором будет соблюдаться условия (16). Соблюдение условия (16) вполне достижимо при наличии ограничений (8), а также ведении процесса при неизменном режиме $n_k(S) = \text{пост.}$ Выполнение описанного порядка расчётов позволяет выявить и число шагов оптимизации ШО на участке счёта, то есть автоматически разделить весь участок счёта на N шагов.

Найденная координата V_{ni+1}^0 принимается как желательная конечная на i -м ШО, то есть $V_{ki}^0 = V_{ni+1}^0$. От значения V_{ni+1}^0 затем, производят все расчёты по определению B_i^* и P_{ti}^* . УОТ_i строят на i -м шаге оптимизации ШО при различных значениях управляющей скорости V_y и различных сочетаниях позиций траекторий управления для рабочего хода $n_k(S)$, выбор которых производился следующим порядком.

Величина B_{ki} пропорциональна реализуемой мощности N_k , которая зависит от позиции управления n_k , выбираемой в пределах от наименьшей n_k^{min} до наибольшей возможной позиции контролера машиниста n_k^{max} , при этом выбор n_k следует производить исходя из условия достижения наибольшего коэффициента полезного действия (к.п.д.) преобразования слагаемой B_{ki} во внешнюю работу процесса, что выразим условием

$$\max \eta_B = \max \frac{F_{kn}(V_n, n_k) \cdot V_n}{b_{kn}(V_n, n_k)}, n_k \in n_k^H - n_k^K \quad (17)$$

где F_{kn} - касательная сила тяги, развиваемая локомотивом при данной текущей скорости V_n и пози-

ции контролера машиниста n_k . Величина F_{kn} определяется выражением в виде полинома $F_{kn} = \sum_{k=0}^5 a_k \cdot V^k$ для каждой позиции контролера машиниста;

b_{kn} - соответствующая характеристическая функция при рабочем ходе, определяемая обычно выражением вида $b_{kn} = \sum_{k=0}^3 a_k \cdot V^k$.

Зная текущее значение V^k , можно найти при всех возможных величинах F_{kn} и b_{kn} ту позицию n_k , для которой будем иметь наибольшее значение η_B .

Обычно число позиций ограничено и составляют 10 - 15 позиций (тепловозы) и 20 - 30 позиций (электровозы), что позволяет указанный выбор производить на ЭВМ в практически приемлемое время.

Выбранная траектория $n_k(S)$ оказывает влияние на предел интегрирования S_{kp} , а также и на время t процесса, поэтому указанный процесс выбора $n_k(S)$ по $\max \eta_B$ следует также регулировать изменением нижнего или верхнего предела значений позиций контролера машиниста, а именно:

$$n_k^H = n_k^{min} + \Delta n \text{ и } n_k^K = n_k^{max} - \Delta n \quad (18)$$

где Δn - величина изменения позиций (обычно $\Delta n = 1-2$ позиции).

Условие (17) распространяется только на участках ТРХ, а условие (18) на участки ТРХ и ТХХ. Общее регулирование процесса на ШО производится путём изменения управляющей скорости V_y , являющейся нижним пределом значений скорости при построении УОТ. Значение V_y принимаются в пределах $V_{ym} \div V^{ог}$, через выбранный интервал изменения ΔV_y , который также можно регулировать для повышения точности расчётов.

От выбранного значения V_y зависят характер УОТ на ШО, пределы интегрирования S_{kp} и S_{kx} , время процесса t , соотношение слагаемых B_{ki} и B_{bi} , а также соотношение траекторий управления $n_k(S)$, $n_x(S)$ и $n_t(S)$.

Учитывая вышеизложенное, выражение (10) можно записать в виде ступенчатой оптимизации процессов на шаге оптимизации методом динамического пошагового программирования, а именно:

Уравнение (19) является частным случаем общего выражения ступенчатой оптимизации процессов на ШО методом динамического пошагового программирования, которое уже учитывает возможности оптимизации не только отдельных слагаемых (14), но и их общей суммы, но и оптимизацию также сумм смежных членов величины B , то есть оптимизацию сумм $B_{pi} + B_{xi}$ и $B_{ki} + B_{ti}$

$$B_i^*(S_{ki}) = \text{опт}''' \left\{ \text{опт}'' \left[\text{опт}' \int_{S_{ni}}^{S_{kp}} \frac{(b_k + b_{cl}) dS}{\zeta \int_{S_{ni}}^{S_{kp}} \frac{u[V(n_k(S), n_x(S))]}{V[n_k(S)]} dS} + \int_{S_{kp}}^{S_{ki}} \frac{b_{cl} dS}{\zeta \int_{S_{kp}}^{S_{kx}} \frac{u[V(n_k(S), n_x(S))]}{V[n_k(S)]} dS} \right] + \int_{S_{kx}}^{S_{ki}} \frac{b_{cl} dS}{\zeta \int_{S_{kx}}^{S_{kt}} \frac{u[V(n_k(S), n_x(S))]}{V[n_k(S)]} dS} \right\} \quad (19)$$

Здесь - $\text{опт}' - n_k(S) \in n_k^H - n_k^K$, $\text{опт}'' - n_k^H - n_k^K \in P_y$, $\text{опт}''' - V_y \in V_{ym} - V^{ог}$.

$$B_i^*(S_{ki}) = \text{опт}''' \left\{ \text{опт}'' \left[\text{опт}' \int_{S_{ni}}^{S_{kp}} \dot{B}_{ps} dS + \text{опт}' \int_{S_{kp}}^{S_{kx}} \dot{B}_{xs} dS \right] + \text{опт}^{\circ\circ} \left[\text{опт}^{\circ} \int_{S_{kp}}^{S_{kx}} \dot{B}_{ts} dS + \text{опт}^{\circ} \int_{S_{kx}}^{S_{kt}} \dot{B}_{ts} dS \right] \right\} \quad (20)$$

Здесь - $\text{опт}^{\circ} - P_t \in P_{\Delta x}$, $\text{опт}^{\circ\circ} - P_x \in P_{\Delta x}$, $\text{опт}^{\circ\circ\circ} - P_{\Delta x} \in P_y$, $\text{опт}' - P_x \in P_{\Delta p}$, $\text{опт}'' - P_k \in P_{\Delta p}$, $\text{опт}''' - P_{\Delta p} \in P_y$, $\text{опт}''' - P_y \in O_m - O^{ог}$

где P_y - управляющий параметр выбора траектории объекта;

$P_{\Delta p}$ и $P_{\Delta x}$ - управляющие параметры выбора пределов изменения позиций рабочего $P_{\Delta p}$ и холостого $P_{\Delta x}$ режимов для возможных сочетаний сумм $B_{pi} + B_{xi}$ и $B_{ki} + B_{ti}$ и выражения (14);

P_k, P_x, P_t - соответствующие управляющие параметры выбора режимов рабочего, холостого и тормозного периодов.

В практических условиях нередко слагаемые B_{ki} и B_{ti} определяются по одной характеристике объекта

b_c , = пост., что имеется и при решении задач оптимизации перевозочной работы локомотивов, в связи с чем, в дальнейшем будет использовано выражение (19).

В результате проведённых исследований обоснованы основные положения предлагаемого метода решения задач оптимизации – метод динамического пошагового программирования, посредством которого можно будет получить оптимальные режимы ведения поезда в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. О решении задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10676> (дата обращения: 30.08.2020).
2. Абляимов О. С. К методу решения задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10675> (дата обращения: 30.08.2020).
3. Абляимов О.С. К формулировке математических методов оптимальных решений [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10667> (дата обращения: 28.08.2020).
4. Беллман Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман. - М.: Иностранная литература, 1960, 400 с.
5. Беллман Р. Прикладные задачи динамического программирования (перевод с английского Лурье К. А.) [Текст] / Р. Беллман, С. Дрейфус. - М.: Наука, 1965, 460 с.
6. Вентцель Е. С. Элементы динамического программирования [Текст] / Е. С. Вентцель. - М.: Наука, 1964, 176 с.
7. Hozh Peter «Über die Auwendung des Maximum Prinzips von Pontrjagin zur Ermittlung von Algorithmen für line energie optimule Zugstouerung». Wissz Hochsch. Verkehrs Duden, 1971, 18 № 4, 919 - 934 (немец.). Экспресс информация «Техническая эксплуатация подвижного состава и тяга поездов», № 29, 9.VIII.1972.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ВЫИГРЫША В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ

Аблялимов Олег Сергеевич

*канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»
Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com*

JUSTIFICATION OF THE WINNING PARAMETER IN THE TASKS OF OPTIMIZATION THE TRANSPORTATION WORK OF LOCOMOTIVES

Oleg Ablyalimov

*Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследования по выбору параметра выигрыша в задачах оптимизации перевозочного процесса для локомотивов дизельной и электрической тяги в эксплуатации при различных условиях организации железнодорожных перевозок грузов и пассажиров.

ABSTRACT

The paper presents the results of a study on the choice of the payoff parameter in the problems of optimization of the transportation process for diesel and electric traction locomotives in operation under various conditions for organizing railway transportation of goods and passengers.

Ключевые слова: исследование, параметр выигрыша, локомотив, показатель, эффективность, перевозочная работа, оптимизация, задача.

Keywords: research, payoff parameter, locomotive, indicator, transportation work, efficiency, optimization, task.

От правильности выбора параметра выигрыша B , то есть некоторого наиболее важного показателя итогов перевозочного процесса, во многом зависит вся направленность решения задачи оптимизации и все практические последствия работы при выбранном оптимальном управлении. Для выбора параметра выигрыша B необходимо хорошо знать особенности процесса, все затраты, связанные с ведением процесса и структуру результатов его [5]. Общей целью всякого производства и отдельных процессов является выпуск запланированной продукции $Пр$ при минимальных затратах $З$. Очевидно важным является организовать учет объема продукции $Пр$ в равнозначных по затратам единицах, что позволит правильно делать сравнения и выводы, о чём уже говорилось [1].

Величину затрат $З$ можно выражать различно, однако общей единицей их всегда является денежное выражение.

За выигрыш должен приниматься наиболее важный параметр (показатель) итогов работы, характеризующий либо продукцию $Пр$, либо их соотношение, что удобно при меняющихся или неодинаковой в рассматриваемых случаях величине продукции $Пр$.

За выигрыш B принимается параметр, который можно выразить численно и он должен быть единственным при выражении конечной цели процесса. Параметр выигрыша B является одной из координат фазового расстояния объекта (поезда) и все зависимости, определяющие связь параметры выигрыша B и при сложившихся условиях работы независимых переменных УФ [1].

В практических условиях выявление путей улучшения процесса работы, то есть снижения затрат $З$ и повышения продукции $Пр$ имеет важное значение и ставятся такого рода задачи повседневно. Ведение процесса необходимо организовать на основе рекомендаций, полученных при оптимальных решениях, охватывающих все стороны процесса в соответствии с выбранным параметром выигрыша B . Только в таких случаях можно получить наибольший эффект. В этом важная и новая сторона внедрения оптимизации, исключая многочисленные ошибки производственной деятельности. Необходимо проводить мероприятия по увеличению продукции, снижению затрат, повышению производительности и улучшению использования мощности оборудования и прочее на основе выбора оптимальных решений, обеспечивающих достижение наибольшей эффективности производства.

Выбор выигрыша производят с учётом возможности достижения указанной выше задачи. Структура параметра выигрыша B , включающая затраты $З$, является димерной.

В задачах оптимизации перевозочной работы локомотивов можно подразделять параметр выигрыша B на эксплуатационную, энергетическую и экономическую разновидности, которые обозначены в табл. 1.

Таблица 1

Классификация параметра выигрыша в задачах оптимизации перевозочной работы локомотивов

Разновидности параметра выигрыша B	Результаты перевозочной работы локомотивов		
	По затратам $З$	По продукции $Пр$	Комбинированные
1	2	3	4
Эксплуатационные	t , ч $M_{л}$, лок-ч $M_{в}$, ваг-ч	QL , т км брутто GL , т км нетто	QV , т км бр./лок-ч $P_{л}$, т км бр./лок-сут. n_{10}^4 , кг/изм (кВт-ч/изм)
Энергетические	A_k , Нкм, кгскм A_c , Нкм, кгскм E, E_k , т (кВт-ч) $N_k \cdot t$, лсч	$QL^{усл}$, усл. т км брутто $GL^{усл}$, усл. т км нетто A'' , Нкм, кгскм	$\beta'' = A''/A_k$ $\eta'' = \kappa_3 \cdot A''/E$ $\eta'' = \kappa_N \cdot A''/\sum N_k \cdot \Delta t$ $I_{10}^{усл, 4}$
Экономические	$\mathcal{E}_\%$, руб/пов. уч. $\mathcal{E}_r$, руб/год	D_y , руб/п-уч (сумма дохода на участке) D_r , руб/год (сумма дохода на годовой грузопоток)	$C = \mathcal{E} \cdot 10^3 / GL$, коп/10ткм нетто $\sigma = \mathcal{E}_r \cdot 10^3 / GL$, коп/10ткм нетто ε_n , коп/10 усл.ткм нетто $\rho = D_y/\Phi$, руб.прибыли/руб.дохода

Из возможных параметров выигрыша B выбирается тот, который в данной задаче оптимизации охватывает все стороны процесса и приводит к достижению поставленной цели. Так, например, для оптимизации поездов при $t = \text{пост.}$ за параметр выигрыша B следует принимать E_k (расход энергии на касательную механическую работу локомотива). Если же $t \neq \text{пост.}$, то можно взять за параметр выигрыша B и расход энергии (натурного дизельного топлива или электрической энергии) E , но результаты практически не будут приемлемыми (большие времена хода). В таких случаях необходимо брать параметром выигрыша B величину расхода по передвижению поезда на участке $\mathcal{E}_x$ или ещё лучше величину годовых приведённых народно – хозяйственных затрат $\mathcal{E}_r$, что позволит оптимизировать время хода и режимы ведения с учётом всех факторов, влияющих на процесс перевозочной работы локомотивов.

Все изложенное позволяет сделать следующие рекомендации по выбору параметра выигрыша B для задач оптимизации перевозочной работы локомотивов.

За параметр выигрыша B могут быть приняты любые параметры, приведённые в табл. 1, однако при выборе параметра выигрыша B обязательно следует учитывать сферу влияния результатов решения, в связи с чем имеем следующее.

Для задач оптимизации стратегического типа за параметр выигрыша B нужно брать годовые приведённые народно – хозяйственные перевозочные затраты на заданный годовой грузопоток Γ т нетто, которые можно записать так

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E} + \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_k \quad (1)$$

где $\mathcal{E} = \mathcal{E}_\% + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_6 + \mathcal{E}_7$ – годовые эксплуатационные затраты.

Остальные слагаемые выражения (1) были указаны ранее [2].

Можно также принимать за параметр выигрыша B и удельные σ_n приведённые перевозочные затраты на участке L , км, а именно:

$$\sigma_n = \frac{\mathcal{E}_r \cdot 10^3}{\Gamma \cdot L}, \frac{\text{коп}}{10 \text{ ткм нетто}} \quad (2)$$

а также величину ε_n , которую можно определить по формул (11) [2].

Наименьшие величины $\mathcal{E}_r$, ε_n и σ_n на перегонах и участках обеспечиваются при оптимальных координатах M_b , O_r и T_p .

Параметр выигрыша B в форме годовых приведённых народно – хозяйственных затрат $\mathcal{E}_r$ позволяет учитывать все зависящие от движения поезда расходы, а также приведённые затраты по капитальным вложениям в подвижной состав и в постоянные устройства линии, влияющие на перевозочную работу локомотивов. Полученные данные по затратам дают возможность также использовать в качестве параметра выигрыша B и рентабельность ρ , которая является весьма широким показателем эффективности производственной работы.

Величина рентабельности должна быть, как возможно большей. Величиной рентабельность ρ учитываются не только затраты, но и стоимость используемых фондов производства, что в какой то степени характеризует окупаемость их.

Возможны следующие разновидности ожидаемой рентабельности.

Первой будет эксплуатационная рентабельность, учитывающая только эксплуатационные расходы

$$\rho_1 = \frac{[d_y - (C_1 + C_2)] \cdot \Gamma \cdot L}{(\Phi_c + \Phi_n + \Phi_k) \cdot 10}, \quad (3)$$

Зависящая доля себестоимости C_1 определяется по эксплуатационным расходам — $C_1 = \frac{3 \cdot 10^3}{\Gamma \cdot L}, \frac{\text{коп}}{10 \text{ ткм нетто}}$.

Независящая доля себестоимости $C_2 = C_0 - C_1$ может быть найдена при известной по отчётам величине общей себестоимости C_0 , коп/ткм нетто. Величины Φ_c , Φ_n и Φ_k — стоимость основных и оборотных фондов подвижного состава и постоянных устройств линии, а также стоимости дополнительных устройств по удлинению приёмо - отправочных путей и прочие определяются в процессе тягово - экономических расчётов (Φ_c) или выявляются по документам (Φ_n, Φ_k).

Второй разновидностью рентабельности является приведённая ожидаемая рентабельность, учитывающая рентабельность по приведённым удельным затратам

$$\rho_n = \frac{[d_y - (\sigma + C_2)] \cdot \Gamma \cdot L}{(\Phi_c + \Phi_n + \Phi_k) \cdot 10}, \% \quad (4)$$

При расчётах рентабельностей ρ_σ и ρ_n полагаем возможным для сравнительных расчётов, величины абсолютной доходной ставки d_y , коп/10 ткм нетто и независимой от перевозочной работы доли себестоимости C_2 , коп/10 ткм нетто, а также стоимость основных фондов постоянных устройств линии, принимать по имеющимся отчётным данным (положение максимума B не меняется существенно при уточнении величин d_y , C_2 и Φ_n). Положение оптимума для величин σ или σ_n по сравнению с ρ_σ или ρ_n для одних и тех же условий различно. Для параметра рентабельности ρ наблюдается сдвиг оптимума в сторону меньших значений времени хода поезда.

Для задач оптимизации тактического типа в качестве параметра выигрыша B следует принимать расходы энергии E или денежных средств по перемещению поездов Δx . Однако, на основании проведённых исследований, круг задач оптимизации тактического типа, связанных с перевозочной работой локомотивов обычно имеет заданным время хода поезда по перегонам $t = \text{пост}$. Это позволяет проводить решения задач оптимизации такого вида на основе параметра выигрыша B_k , например, расхода энергии E_k на выполнение касательной механической работы A_k .

В результате можно рекомендовать для задач оптимизации перевозочной работы локомотивов применять параметры выигрыша B - величины σ , σ_n или σ_n , а также рентабельность ρ для задач оптимизации стратегического типа, а для задач оптимизации тактического типа - величины E или Δx , как вполне обеспечивающие получение необходимого результата.

Принятие в качестве параметра выигрыша B - величины σ при оптимизации перевозочной работы локомотивов позволит получить наиболее обобщающие и универсальные решения задач оптимизации, охватывая стратегические цели и учитывающие вы-

полнение задание заданного грузопотока с наибольшим экономическим эффектом. Принятие при оптимизации процессов перевозочной работы локомотивов за параметр выигрыша B величины Δx явится лишь тактическим выражением решения задачи перемещения поезда, не учитывающим определённую взаимосвязь результатов работы по передвижению поезда со стоянками его на промежуточных раздельных пунктах и участковых станциях, а также и на станциях оборота локомотивов. Чем больше время простоев на этих станциях, тем больше потребуются подвижного состава, возрастут расходы, связанные с капитальными вложениями в подвижной состав на реновацию, а также на ремонт его, возрастут расходы по содержанию локомотивных бригад и приведённые затраты, зависящие от скорости доставки грузов.

Таким образом, приведённые перевозочные затраты нельзя отделить по периодам хода и стоянок - их надо учитывать комплексно за весь цикл перевозочной работы на участке железной дороги. Удельный вес затрат за период хода и весь цикл перевозочной работы на участке железной дороги будет меняться с изменением условий движения и стоянок. Чем больше стоянок, тем следует быстрее двигаться по перегонам, чтобы сократить временные расходы, хотя при этом, соответственно, повысятся и энергетические расходы. Определённое влияние на величину σ оказывает влияние принятого значения коэффициента участковой скорости, времени экипировки, ожидания работы, приема - сдачи локомотива, которые, в свою очередь, определённым образом связаны с временем хода по перегонам (через σ), а следовательно и режимом ведения поезда. Если предстоит стоянка в ожидании встречного поезда, то можно увеличить время хода этого поезда по перегону за счёт времени стоянки, изменив соответственно режим ведения, что приведёт к сокращению энергетических расходов на данном перегоне. В таком случае доля временных расходов, определяемая временем хода и стоянки, останется неизменной, а доля энергетических расходов может значительно сократиться.

Достижение наименьшей величины σ для заданного объёма работы является наиболее полным выражением главной цели перевозочной работы локомотивов на участке железной дороги, обеспечивающего и выполнение стратегических задач процесса перевозочной работы участков.

Использование рассмотренных параметров B позволяет проводить соответствующие исследования по повышению эффективности перевозочной работы локомотивов в различных условиях [7,8 и другие], а также по повышению эксплуатационной надёжности перевозочной работы локомотивов [9 и другие]. Увеличение производительности локомотивов связано с увеличением веса (массы) состава, в связи с этим следует уделять большое внимание правильности расчёта его [11,12], повышению средней величины его на участках [6], а также возможно большему сокращению разрыва между значением, указанным в документах (натурные листы, маршруты машиниста и пр.) и фактическим значением. Имеется еще значи-

тельное отклонение указанных величин, что подтверждается рядом исследований [7] и многочисленными сообщениями периодической печати. Ликвидация указанного разрыва является огромным резервом повышения эффективности перевозочной работы локомотивов.

Увеличение веса состава в отдельных случаях ограничивается боксованием колёсных пар локомотивов или перегревом тяговых электрических машин, поэтому разумное использование возможностей увеличения веса (массы) составов вплоть до критического значения [9] является серьёзным резервом в повышении эффективности эксплуатационной деятельности железных дорог.

Проведённые опытные поездки и расчёты на участках Среднеазиатской и Казахской железных дорог [10] доказали наличие возможностей дальнейшего повышения веса (массы) составов и способствуют обоснованию по улучшению показателей эффективности перевозочной работы локомотивов.

Автором проведены соответствующие исследования по выявлению динамики показателей эффективности перевозочной работы локомотивов в зависимости от изменения координат M_6 и Op (мощности, к.п.д. локомотива, веса состава, ограничений скорости, профиля и прочие). Результаты расчётов свидетельствуют об определенных возможностях увеличения эффективности перевозочной работы локомотивов, однако только выбор оптимальных решений позволяет получить наибольшую эффективность рассматриваемого процесса, поэтому оптимизация является решающим фактором в достижении максимального эффекта.

В результате проведённых автором исследований и анализа материала, представленного в работах [2-4] можно сделать такие обобщающие выводы.

1. Наиболее полную оценку использования локомотивов в процессе перевозочной работы локомотивов для различных условий работы на участках же-

лезных дорог можно сделать по показателю приведённой годовой эффективности перевозочной работы локомотивов, а также годовым, приведённым народно - хозяйственным перевозочным затратам на заданный грузопоток, желательно при этом продукцию выражать в условных т км нетто. Оценка эффективности процесса перевозочной работы локомотивов по эксплуатационным показателям не даёт сравнимых и объективных результатов, особенно, когда изменяется скорость движения поезда, нагрузка на ось и пр.

2. На показатель приведённой эффективности нетто наибольшее влияние для конкретного участка железной дороги оказывают изменение нагрузки на ось и скорость движения поезда, поэтому особое значение имеют проведение мероприятий по снятию ограничений скоростей движения и по увеличению нагрузки на ось вагонов. Внедрение более мощных локомотивов, удлинение приёмо-отправочных путей, также даёт значительное повышение эффективности перевозочной работы локомотивов, однако каждое изменение условий должно быть тщательно обосновано соответствующими расчётами с оптимизацией процесса перевозочной работы локомотивов.

3. Для конкретного объёма перевозок на участке железной дороги следует учитывать влияние различных условий на эффективность перевозочной работы локомотивов и реальные возможности изменения их, выявляя наиболее приемлемые варианты работы на основе оптимальных решений. Тот вариант перевозочной работы, при котором будут оптимальные координаты M_6 , Op и технология перевозочной работы локомотивов даст наибольший эффект.

Результаты исследования рекомендуется использовать при обосновании критерия оптимизации перевозочной работы локомотивов дизельной и электрической тяги с учётом реальных условий организации железнодорожных перевозок в грузовом и пассажирском виде движения.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. К методу решения задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10697> (дата обращения: 08.09.2020).
2. Абляимов О. С. Экономические показатели эффективности локомотивов в условиях эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10703> (дата обращения: 05.09.2020).
3. Абляимов О. С. Показатели эффективности использования локомотивов в условиях эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10700> (дата обращения: 08.09.2020).
4. Абляимов О. С. Исследование эффективности использования локомотивов дизельной тяги в эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10694> (дата обращения: 08.09.2020).
5. Бакаев А. А. Методические проблемы выбора целевых функций при организации планирования работы различных видов транспорта [Текст] / А. А. Бакаев // В сб. «Экономическая кибернетика и исследование операций», вып. 4, Киев, 1966. – С. 53 – 75.
6. Тихонов К. К. Теоретические основы выбора оптимальных весовых норм грузовых поездов [Текст] / К. К. Тихонов // Тр. МИИТ, вып. 331 - М.: Транспорт, 1970. – С. 123 – 133.

7. Толкачёв А. В. Влияние условий эксплуатации на эффективность использования локомотивов [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашИИТ, вып. 43 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 1967. – С. 67 – 85.
8. Толкачёв А. В. Эффективность снятия ограничений скоростей движения по состоянию пути [Текст] / А. В. Толкачёв, Е. Н. Махов // Тр. ТашИИТ, вып. 14 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Ташкент, 1967. – С. 29 – 37
9. Толкачёв А. В. Перегрев электрических машин в различных условиях перевозочной работы локомотивов [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашИИТ, вып. 88 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Ташкент, 1972. – С. 39 – 48.
10. Толкачёв А. В. Изменения форсунок ТЭЗ улучшающих их работу [Текст] / А. В. Толкачёв // «Электрическая и тепловозная тяга», № 12, 1963. – С. 15 – 21.
11. Толкачёв А. В. О методах расчёта веса составов грузовых поездов с учётом кинетической энергии [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашИИТ, вып. 14 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Ташкент, 1960. – С. 72 – 79.
12. Толкачёв А. В. О фактической величине веса составов грузовых поездов [Текст] / А. В. Толкачёв // Тезисы докладов 24-й научно - технической конференции кафедр института. - ТашИИТ, Ташкент, 1960.

К РЕШЕНИЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВИДА $y' = f(x, y)$ МЕТОДОМ ХОРД

Абляимов Олег Сергеевич
*канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство», Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com*

TO SOLUTION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS FORM $y' = f(x, y)$ BY THE CHORD METHOD

Oleg Ablyalimov
*Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Приводится обоснование предложенного принципа решения обыкновенных дифференциальных уравнений методом хорд и классификация возможных разновидностей (приёмов) численного и графоаналитического способов решения таких уравнений.

ABSTRACT

The substantiation of the proposed principle for decision ordinary differential equations by the chord method and the classification possible varieties (methods) of numerical and graphic - analytical methods for solution such equations.

Ключевые слова: уравнение, численный метод, решение, поезд, задача, переменная, шаг, производная, полином, ряд, начальные условия.

Keywords: equation, numerical method, solution, train, problem, variable, step, derivative, polynomial, series, initial conditions.

Настоящие исследования являются продолжением работы [1], в которой были рассмотрены некоторые основные (базовые) численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений вида $y' = f(x, y)$ и посвящены обоснованию метода хорд, предложенного автором [4], сущность которого заключается в следующем.

С определённой точностью можно, производя необходимые построения и приняв соответствующие зависимости линейными в исходных интервалах h_a и Δy_a , найти средние значения переменных x_c и y_c в искомым (текущих) интервалах h_n и Δy_n . Нахождение конечных значений x_{n+1} и y_{n+1} на шаге интегрирования, затем производится или по производной для средних значений или пересчётом соответствующих координат.

Дано обыкновенное дифференциальное уравнение

$$y' = f(x, y) \quad (1)$$

и известны начальные условия x_n, y_n , за которые принимаются и полученные в процессе решения результаты на соответствующем шаге интегрирования.

Полагаем, что на заданном отрезке $x_n \leq x \leq x_k$ решение существует и соблюдается условие Липшица [3].

По начальным условиям имеем

$$y'_n = f(x_n, y_n) \quad (2)$$

что позволяет при принятом некотором исходном интервале h_a найти величину

$$\Delta y_a = y'_n h_a \quad (3)$$

а затем проверить полученное значение по условию

$$|\Delta y_0| \geq |\Delta y_a| \leq |a_n| \quad (4)$$

где Δy_0 – наибольшая возможная величина исходного приращения, определяемая при значении $y' = 0$;

a_n – принятая предельная величина исходного приращения. Принятая величина a_n обеспечивает выбор таких величин h_a и Δy_a , в пределах которых принятие соответствующих зависимостей линейными обеспечивает заданную точность расчётов без

их усложнения. Последнее приводит также к установлению ограничивающих связей между исходными и искомыми интервалами, то есть

$$\begin{aligned} h_n &\leq h_a & (5) \\ |\Delta y_n| &\leq |\Delta y_a| \leq |a_n| & (6) \end{aligned}$$

В пределах h_a значение Δy_n может быть найдено по тангенсу угла наклона хорды кривой $y(x)$, который определяется производной для средних значений переменных x_c и y_c в пределах искомого интервала

$$\Delta y_n = f(x_c, y_c) h_a \quad (7)$$

и будет определяться характером заданного уравнения (1), причём хорды кривой $y(x)$ могут располагаться:

а) по линии $k-d$ (рис. 1), что будет при $y'_n = y'_c = \text{const.}$, то есть когда в пределах Δy_a производная не меняется;

б) по линии $k-a$, если $y' = \text{const.}$ и значения y' уменьшается в пределах h_a и Δy_a . Так как угол наклона хорды $k-a$ стал меньше, то в пределах $h_n = h_a$ текущее приращение $\Delta y_n < \Delta y_a$ и может быть $0 \leq \Delta y_n \leq \Delta y_a$ в зависимости от характера (1), поэтому

$$f(x_c, y_c) = \frac{\Delta y_n}{h_a} \quad (8)$$

и очевидно получим $x_c = x_n + \frac{h_a}{2}$, которое останется неизменным для данного исходного шага, а значение y_c может быть найдено на основе дополнительных построений, о чём будет сказано ниже;

в) по линии $k-a_1$, если $y' = \text{const.}$ и значение y' увеличивается в пределах рассматриваемого интервала, следовательно, угол α растёт. Учитывая (5) и (6)

будем иметь $\Delta y_n = \Delta y_a$, а $0 \leq h_n \leq h_a$, так как значение h_n может изменяться в зависимости от характера уравнения (1), поэтому

$$\frac{h_n}{\Delta y_a} = \frac{1}{y'_c} = \frac{1}{f(x_c, y_c)} \quad (9)$$

откуда

$$h_n = \frac{\Delta y_a}{f(x_c, y_c)} \quad (10)$$

где $y_c = y_n + \frac{\Delta y_a}{2}$, а значение x_c необходимо определить на основе дополнительных построений, о чем будет сказано ниже;

г) по $k-e$, когда $y' = 0$ и $y_{n+1} = y_n = \text{const.}$ Для этого крайнего случая $\Delta y_n = 0$ и $y_c = y_n$.

Из произведённого анализа видно, что значения h_n и Δy_n будут зависеть от закономерностей изменения y' в пределах выбранных интервалов.

Изменения y' заданного уравнения (1) выявляется путём исследования зависимости $y' = \varphi_1(y)$ или $x' = \varphi_2(x)$ в системе $y'y_0$ или $x'x_0$. Так как результаты исследований в зависимостях $y' = \varphi_1(y)$ и $x' = \varphi_2(x)$ аналогичны, приведём их для случая $y' = \varphi_1(y)$.

В пределах половины величины h_a и Δy_a изменения приращения производной будет (рис. 1).

$$\Delta y' = \frac{\partial y' \Delta y_a}{\partial y} + \frac{\partial y' h_a}{\partial x} = y'_a - y'_n \quad (11)$$

$$\text{где } y'_a = f\left(x_n + \frac{h_a}{2}, y_n + \frac{\Delta y_a}{2}\right)$$

Рисунок 1. Возможные случаи зависимостей $y'(y)$ и приращений переменных x, y в пределах исходных интервалов Δy_a и h_a .

Возможные значения и характер изменения $\Delta y'$ в пределах $\frac{1}{2} \Delta y_1$:

а) $\Delta y' = 0$ и $y'_n = y'_a$, что соответствует случаю, когда угол наклона хорды кривой $y(x)$ не меняется (линия $k-d$), поэтому приращение $\Delta y_n = \Delta y_a = y'_a h_a$,

то есть искомое приращение находят по производной для средних значений x_c и y_c в исходных интервалах Δy_a и h_a :

б) $\Delta y' = 0$, то есть $y'_a > y'_n$, что соответствует случаям увеличения угла наклона хорды кривой $y(x)$, следовательно, на основании (5) и (6), а также см. рис. 1, $\Delta y_n = \Delta y_a = const.$, а $h_n < h_a$ и будет зависимой переменной, поэтому

$$\frac{h_n}{\Delta y_a} = \frac{1}{f(x_c, y_c)} \quad (12)$$

откуда

$$h_n = \frac{\Delta y_a}{f(x_c, y_c)} \quad (13)$$

где x_c определится по соответствующей формуле, а $y_c = y_n + \frac{\Delta y_a}{2}$.

Рассмотренный случай соответствует таким дифференциальным уравнениям, для которых, в исходных интервалах $\frac{\partial y' \Delta y_a}{\partial y^2} + \frac{\partial y' h_a}{\partial x^2} > 0$;

в) $\Delta y' < 0$ и $y'_a < y'_n$ т.е. угол наклона хорды кривой $y(x)$ уменьшается в рассматриваемых интервалах, что может быть при $\frac{\partial y' \Delta y_a}{\partial y^2} + \frac{\partial y' h_a}{\partial x^2} < 0$.

В таких случаях на основании (5) и (6), а также см. рис. 1, $h_n = h_a = const.$, а $\Delta y_n < \Delta y_a$ будет зависимой переменной, поэтому

$$\frac{\Delta y_n}{h_a} = f(x_c, y_c), \quad (14)$$

откуда

$$\Delta y_n = f(x_c, y_c) h_a \quad (15)$$

где $x_c = x_n + \frac{h_a}{2}$,

а y_c — определится по соответствующей формуле, полученной по дополнительным построениям;

г) $\Delta y' = -y'_n$ и тогда $\frac{1}{2} \Delta y_a = 0$, а $y'_a = 0$, то есть угол наклона хорды стал равен нулю. Ясно, что в этом случае $\Delta y_n = \Delta y_a = 0$ и $y_{n+1} = y_n$.

Линию расположения средних точек ($c_1, c_2 \dots$) текущих интервалов в зависимости от изменения y' в пределах исходных интервалов, можно выявить путём дополнительных построений в системе $y'y_0$ по найденным двум крайним точкам $d(y_n + \frac{\Delta y_a}{2}, y'_n)$ и $e(y_n, 0)$.

Точка d — соответствует случаю, когда $\Delta y_n = \Delta y_a$, $\Delta y' = 0$ и $y'_n = y'_a = const.$, что позволяет определить положение хорды $k-d$ кривой $y(x)$ тангенсом угла наклона её, то есть $y'_a = f(x_n, y_n) = f(x_n + \frac{h_a}{2}, y_n + \frac{\Delta y_a}{2})$.

Таким образом, точка d будет средней точкой искомого интервала Δy_n в этом случае, так как $y'_n = y'_a = \frac{\Delta y_a}{h_a} = \frac{\Delta y_n}{h_n}$.

Координаты этой точки всегда могут быть найдены по начальным условиям.

Вторая точка e характеризует второй крайний случай: изменения переменной y нет и производная $y'_e = 0$. В этом случае, по условиям для точки e , имеем $y_{n+1} = y_n$ и $\Delta y_a = 0$, в силу выражения (6) $\Delta y_n = 0$, что следует также из $y'_e = \frac{\Delta y_n}{h_a} = 0$.

Следовательно, средняя точка этого случая $y_c = y_n$ и находится в точке $e(y_n, 0)$.

В случаях, когда для уравнения (1) зависимость $y' = \varphi_1(y)$ будет в зоне между линиями $n-d$ и $h-e$, которую в пределах $\frac{\Delta y_a}{2}$ принимаем линейной. Положение средних точек будет определяться точками пересечения линии $n-a$, отражающей изменения $y' = \varphi_1(y)$ с прямой $d-e$, принятой за линию изменения положения средних точек искомого интервала при $y'_a = y'_n$.

Написав уравнения прямых $n-a$ и $d-e$ можно найти точки пересечения их, по которым и будут найдены средние значения переменной y_c (ординаты средних точек).

Аналогичные построения можно сделать для случаев $y'_a > y'_n$, что приведёт к необходимости нахождения точек пересечения для определения абсцисс, то есть значений x_c .

Ордината средней точки текущего интервала определяется следующим порядком.

Для прямой $n-a$ имеем $\frac{y-y_0}{y_n-y_0} = \frac{y'}{y'_n}$, откуда

$$y' = \frac{y-y_0}{y_n-y_0} y'_n \quad (16)$$

где y_0 — отрезок, отсекаемый на оси y при продолжении прямой $n-a$ (корень уравнения прямой $n-a$).

Из соотношения $\frac{\Delta y_a}{2(y'_n - y'_a)} = \frac{y_0 - y_n}{y'_n}$ находим

$$y_0 = \frac{\Delta y_a y'_n}{2(y'_n - y'_a)} + y_n \quad (17)$$

Для прямой $d-e$ имеем $\frac{(y-y_n)^2}{\Delta y_a} = \frac{y'}{y'_n}$, откуда

$$y' = \frac{2(y-y_n)y'_n}{\Delta y_a} \quad (18)$$

Подставив (17) в (16) получим

$$y' = \frac{y-y_n - \frac{\Delta y_a y'_n}{2(y'_n - y'_a)}}{\frac{\Delta y_a y'_n}{2(y'_n - y'_a)}} y'_n \quad (19)$$

Приравняем (19) и (18) и обозначив $-\frac{\Delta y_a y'_n}{2(y'_n - y'_a)} = m$, получим

$$\frac{y-y_n-m}{-m} y'_n = \frac{2(y-y_n)}{\Delta y_a} y'_n \quad (19')$$

Решаем относительно y . Умножим все члены на m и раскрыв скобки получим $y \cdot \Delta y_a - y_n \cdot \Delta y_a - m \Delta y_a + 2ym - 2y_n m = 0$ или

$y(\Delta y_a - 2m) = y_n(\Delta y_a + 2m) + m\Delta y_a$, откуда
 искомая ордината

$$y = \frac{y_n(\Delta y_a + 2m) + m\Delta y_a}{\Delta y_a + 2m} \text{ или заменив } m \text{ получим}$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{y_n \left(\Delta y_a + \frac{2\Delta y_a y'_n}{2(y'_n - y'_a)} \right) + \frac{\Delta y_a^2 y'_n}{2(y'_n - y'_a)}}{\Delta y_a + \frac{2\Delta y_a y'_n}{2(y'_n - y'_a)}} \\ &= \frac{y_n * \Delta y_a + \frac{y_n \Delta y_a y'_n}{(y'_n - y'_a)} + \frac{\Delta y_a^2 y'_n}{2(y'_n - y'_a)}}{\Delta y_a \left(1 + \frac{y'_n}{y'_n - y'_a} \right)} \\ &= \frac{y_n \Delta y_a \left[1 + \frac{y'_n}{y'_n - y'_a} + \frac{\Delta y_a y'_n}{2y_n(y'_n - y'_a)} \right]}{\Delta y_a \left(1 + \frac{y'_n}{y'_n - y'_a} \right)} \end{aligned}$$

и окончательно ордината средней точки текущего интервала Δy_n , приняв $y = y_c$

$$y = \frac{y_n \left(1 + \frac{y'_n}{y'_n - y'_a} \right) + \frac{\Delta y_a y'_n}{2(y'_n - y'_a)}}{1 + \frac{y'_n}{y'_n - y'_a}} = \frac{y_n(y'_n - y'_a) + y'_n(y_n + \frac{\Delta y_a}{2})}{2y'_n - y'_a} \quad (20)$$

Конечные значения переменных на шаге интегрирования в рассматриваемых случаях

$$y_{n+1} = y_n + f(x_c, y_c) \quad (21)$$

$$\text{где } x_c = x_n + \frac{h_a}{2} \text{ а}$$

$$x_{n+1} = x_n + h_a \quad (22)$$

Аналогично, для случаев $y'_a > y'_n$, абсцисс средней точки текущего интервала h_n

$$x_c = \frac{x_n(y'_a - y'_n) + y'_a(x_n + \frac{h_a}{2})}{2y'_a - y'_n} \quad (23)$$

Конечные значения переменных

$$x_{n+1} = x_n + \frac{\Delta y_a}{f(x_c, y_c)} \quad (24)$$

$$\text{где } y_c = y_n + \frac{\Delta y_a}{2} \text{ и}$$

$$y_{n+1} = y_n + \Delta y_a \quad (25)$$

На основании принципа решения, использованного в описанном методе хорд, практически можно иметь несколько возможных разновидностей (приёмов) численного метода решения обыкновенных дифференциальных уравнений, которые реализуются двумя способами – численным и графо – аналитическим. К численным способам относят варианты уточнения метода Эйлера и расчётов по y' и x' , а последние разделяют на приёмы определения y_{n+1} пересчётом и по производной y_c и x_c . Графоаналитическим способом являются варианты расчётов и построений по $z(x, y)$.

Использование метода хорд к решению уравнений вида $y' = f(x, y)$ было впервые показано в [4], а для решения дифференциального уравнения движения поезда в [5,6] и использовано авторами [2,7 и другие] при составлении ряда программ по нормированию расхода топлива на тягу поездов, анализу и оценке эффективности перевозочной работы локомотивов в условиях эксплуатации.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. Уравнение движения поезда и некоторые методы его решения [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10713> (дата обращения: 08.09.2020).
2. Абляимов О. С. О методах исследования перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Науч. – техн. конференция с участием зарубежных учёных «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 2011. – С. 79 – 85.
3. Березин И. С. Методы вычислений [Текст] / И. С. Березин, Н. П. Жидков. - Изд. 2-е. – М.: ГИФМЛ, 1962. – Т. 1. – 464 с.
4. Толкачёв А. В. Решение дифференциальных уравнений методом хорд [Текст] / А. В. Толкачёв // Сб. Вычислительная и прикладная математика. ИК с ВЦ АН УзССР, Ташкент, 1972.
5. Толкачёв А. В. О методах решения уравнения движения поезда при расчётах на ЭЦВМ [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашИИТ, вып. 88 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Ташкент, 1972. – С. 79 – 87.
6. Толкачёв А. В. О численном методе решения уравнения движения поезда [Текст] / А. В. Толкачёв // «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч.-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1972, № 7. – С. 53 – 59.
7. Толкачёв А. В. Исследование возможностей снижения расхода топлива тепловозами на тягу поездов за счёт оптимальных режимов вождения поездов на САЗ ж.д. [Текст] / А. В. Толкачёв, О. С. Абляимов // Научно - технический отчёт ТашИИТ, ВНИТЦ № 79028894, Инв. № Б836191 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Москва, 1979. – 67 с.

ВЫБОР ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ШАГА ИНТЕГРИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЁТАХ НА ЭВМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВИДА $y' = f(x, y)$

Абляимов Олег Сергеевич

*канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com*

SELECTING A PRELIMINARY INTEGRATION STEP OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF THE FORM $y' = f(x, y)$ IN COMPUTER CALCULATIONS

Oleg Ablyalimov

*Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Приводится уравнение движения поезда и анализ существующих численных методов его решения, свидетельствующий о необходимости разработки новых численных методов решения для практической реализации на ЭВМ и в работе специалистов локомотивного комплекса железных дорог.

ABSTRACT

An equation of train motion and an analysis of existing numerical methods for its solution are given, indicating the need to develop new numerical solution methods for practical implementation on a computer and in the work of specialists of the locomotive complex of railways.

Ключевые слова: уравнение, численный метод, решение, поезд, задача, переменная, шаг, производная, полином, ряд, начальные условия.

Keywords: equation, numerical method, solution, train, problem, variable, step, derivative, polynomial, series, initial conditions.

В исследованиях [1,2] рассматривались вопросы, касающиеся уравнения движения поезда, анализа и оценки существующих базовых численных методов его решения, которые показали определённую их несостоятельность, то есть некоторые сложности и трудности в практическом использовании последних.

Авторами [2-4] обосновывается новый подход к решению дифференциальных уравнений вида $y' = f(x, y)$ – метод хорд, для реализации которого при расчётах на ЭВМ вначале необходимо произвести (выполнить) выбор предварительного шага интегрирования по независимой переменной.

Решение известного дифференциального уравнения движения поезда (1) [1] обычно производят, принимая за независимую переменную "путь", так как в зависимости от пройденного пути меняются элементы профиля, ограничения скоростей движения, оси раздельных пунктов и т.д. Только в отдельных случаях интегрирование следует производить по переменной "скорость", что удобно делать в пределах

того или иного элемента профиля, когда приращение скорости больше предельного значения a_n .

Однако, во всех случаях выявляют предварительный шаг интегрирования по пути [5], учитывая все возможные изменения условий движения – смену профиля пути, ограничивающих скоростей, абсцисс станции и т.д. Только в отдельных случаях интегрирования ведут на фиксированном, заранее определённом шаге h_ϕ , что имеет место при отыскании точек смены режима работы (ведения поезда) для силовых энергетических установок локомотивов.

Остановимся на алгоритме выбора предварительного шага при интегрировании по независимой переменной "путь".

Для общего случая, процесс выбора предварительного шага при тех или иных возможных условиях работы на перегоне (рис. 1) производится в такой последовательности.

Рисунок 1. К выбору предварительного шага интегрирования h_1 .Разные случаи значений D_{T1} : $D_{T1} = a_D$; $D_{T2} = \sum L_i - \sum L_{i-1}$;

$$D_{T3} = \sum X_i - \sum L_{i-1}$$

1. Проверяется $P\{|\sum L_i| \geq |\sum X_i|\}$ если да, то $\rightarrow 2$ (необходимо учесть конец текущего перегона по его абсциссе $\sum X_i$, а предтормозные и тормозные расчеты на отрезке D_T будут производиться перед станцией); если нет, то $\rightarrow 7$ (расчеты на D_T , если нужно, будут производиться на перегоне в пределах текущей длины отрезка пути $\sum L_i$, с ограничивающей скоростью V_i^{or}).

2. Проверка $P\{\sum L_i \leq 0\}$ если да, то $\rightarrow 3$ (будет остановка, что условно отражаем наличием знака

“минус” перед $\sum X_i$); если нет, то $\rightarrow 7$ (движением будет без остановки на текущей станции).

3. Проверка $P\{|\sum X_i| - |\sum L_{i-1}| \leq a_D\}$, если да, то $\rightarrow 4$ (необходимо определение участка D_T по разности абсцисс станций $\sum X_i$ и длины отрезка пути с ограничивающей скоростью предыдущего случая $\sum L_{i-1}$. Если нет $\rightarrow 5$ (значение D_T принимается равным некоторому заданному в исходной информации a_D).

Таблица 1.

Результаты решения уравнения $y' = 4570\bar{y}' - 218 + + 5,4y - 0,077y^2 + 0,00058y^3 - 0,0000018y^4$.Начальные условия $y_n = 1$ и $x_n = 0$

Метод расчёта	Конечное значение y_{n+1} для $x_k = 1$ при предельном приращении a_n			
	0,5	2	5	10
Эйлера	47,05	48,60	50,20	52,40
Рунге - Кутта	-	47,20	47,40	47,60
Предлагаемый	-	47,03	47,08	47,27

Таблица 2.

Результаты решения уравнения $y' = \frac{xy}{2}$ при начальных условиях $y_n = 1,025$ и $x_n = 0,1$ предлагаемым методом, а также по точной формуле, при $a_n = 0,005$

Значения x	Значения y_{n+1}	
	Предлагаемый метод	Точное значение $y = e^{\frac{x^2}{4}}$
0,1	1,0025	1,0025
0,2	1,0102	1,0100
0,3	1,0226	1,0227
0,4	1,0404	1,0408
0,2	1,0640	1,0645

4. $D_T = |\sum X_i| - |\sum L_{i-1}|$ и запомнить $< D_T >$;
5. $D_T = a_D$ и запомнить $< D_T >$;
6. $|\sum X_i| - D_T$ и запомнить $< \sum X_i - D_T >$, выход к 13
7. Проверить $V_i^{or} \leq V_{i+1}^{or}$, если да, то $\rightarrow$ 8 (торможения не будет); если нет, то $\rightarrow$ 9 (необходимо учесть

возможность торможения, определив соответствующее расстояние D).

8. $D_T = 0$. Заполним $< D_T >$, выход к 13
9. Проверить $P\{\sum X_i - \sum L_{i-1} \leq a_D\}$, если да, то $\rightarrow$ 10 (определено наименьшее возможное значение D_T); если нет, то $\rightarrow$ 11 (принимается $D_T = a_D$).
10. $D_T = \sum X_i - \sum L_{i-1}$ запомнить $< D_T >$;

Таблица 3.

Данные решения уравнения $y' = y + 2xy^{-1}$ некоторыми методами
 при $y_n = 1$ и $x_n = 0$. Величина $a_n = 0, 1$

Значения x	Значения y_{n+1}			
	Рекомендуемый метод	Усовершенствованный метод ломаных [68]	Усовершенствованный метод Эйлера - Коши [68]	Точное решение $y = \sqrt{2x+1}$
0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,2	1,182918	1,1836	1,1867	1,182
0,4	1,341003	1,3426	1,3484	1,340
0,6	1,482210	1,4850	1,4938	1,4810
0,8	1,610638	1,6152	1,6279	1,61
1,0	1,7292118	1,7362	1,7542	1,73205

11. $D_T = a_D$ запомнить $< D_T >$.
12. Найти $\sum L_i - D_T$ и запомнить $< \sum L_i - D_T >$ и выход к 13.
13. Проверить наличие признака торможения Π_T , если да, то $\rightarrow$ 14, (надо изменить знак величины D_T на обратный, что позволяет продолжать расчеты торможения); если нет, то $\rightarrow$ 15 (производим выбор предварительного шага для прямого хода).
14. $D_T = -D_T$ запомнить $< D_T >$
15. Сравнить $\sum l_n, \sum L_i, \sum L_i - D_T$ и $|\sum X_i| - D_T$ и взять из этих значений наименьшее $\sum \min$
 Здесь $\sum l_n$ – длина элементов профиля, включённых в текущий расчёт.
16. Найти предварительный шаг
 $h_1 = \sum \min - \sum h_n$ запомнить $< h_1 >$
 Здесь $\sum h_n$ – общее пройденное расстояние (сумма пройденных шагов). Во всех случаях, когда

$h_1 = 0$, будут расчёты торможения, вырабатывается признак торможения Π_T и прекращаются расчёты прямого хода. На расстоянии D_T будут произведены соответствующие расчёты на фиксированном шаге интегрирования и определены точки смены режимов ведения поезда.

В результате обоснования выбора предварительного шага интегрирования по одной из независимой переменной можно сделать следующие выводы.

Найденная, таким образом, величина предварительного шага интегрирования по пути h_1 , затем используется в последующих расчётах. Так как величина упомянутого шага h_1 переменная, то выбранный для решения дифференциального уравнения вида $y' = f(x, y)$ метод интегрирования должен позволять производить решение и на переменном шаге.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. Уравнение движения поезда и некоторые методы его решения [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10697> (дата обращения: 07.09.2020).
2. Абляимов О. С. К решению дифференциальных уравнений вида $y' = f(x, y)$ методом хорд [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10707> (дата обращения: 07.09.2020).
3. Толкачёв А. В. О численном методе решения уравнения движения поезда [Текст] / А. В. Толкачёв // «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч.-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1972, № 7. – С. 53 – 59.
4. Толкачёв А. В. Решение дифференциальных уравнений методом хорд [Текст] / А. В. Толкачёв // Сб. Вычислительная и прикладная математика. ИК с ВЦ АН УзССР, Ташкент, 1972. – С. 67 – 75.
5. Толкачёв А. В. Некоторые вопросы алгоритмизации тяговых расчётов [Текст] / А. В. Толкачёв, С. Г. Упадышева // Тр. ТашиИТ, вып. 55 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Ташкент, 1968. – С. 81 – 87.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВИДА $y' = f(x, y)$ МЕТОДОМ ХОРД

Аблялимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
 «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский государственный транспортный университет,
 Узбекистан, г. Ташкент
 E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

EFFICIENCY OF THE SOLUTION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF THE FORM $y' = f(x, y)$ BY THE CHORD METHOD

Oleg Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair
 «Locomotives and locomotive economy» Tashkent state transport university,
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Обосновывается эффективность решения дифференциальных уравнений вида $y' = f(x, y)$ разными численными методами расчёта на ЭВМ по критерию ожидаемой погрешности и затрат машинного времени с учётом предельной величины приращения. Доказано преимущество предлагаемого метода хорд.

ABSTRACT

The efficiency of the solution differential equations of the form $y' = f(x, y)$ by different numerical methods of calculation on a computer is substantiated according to the criterion of the expected error and the cost of computer time, taking into account the limiting value of the increment. The advantage of the proposed chord method is proved.

Ключевые слова: уравнение, численный метод, решение, поезд, задача, переменная, шаг, производная, полином, ряд, начальные условия.

Keywords: equation, numerical method, solution, train, problem, variable, step, derivative, polynomial, series, initial conditions.

Эффективность численных методов решения дифференциальных уравнений оцениваем на основании следующих соображений.

1. Зная влияние неточности (ошибки) решения дифференциальных уравнений в поставленной задаче на ожидаемые результаты, намечают допустимую погрешность ε в процентах, а затем находят необходимое значение предельного приращения a_n , при котором обеспечивается заданная погрешность и от которого, в основном, будет зависеть затрата машинного времени, а следовательно и стоимость расчётов. Можно для каждого метода, расчётами на ЭВМ найти соответствующие зависимости затрат машинного времени t_m , мин, и ожидаемые погрешности ε от выбранной предельной величины a_n исходного приращения, то есть $t_m = f(a_n)$ и $\varepsilon = f(a_n)$. Очевидно, тот метод при котором будет меньшая затрата времени при условии достижения принятой погрешности, следует считать более выгодным.

На рис. 1 приведён пример таких зависимостей, полученных по данным расчётов на ЭВМ. Как видно,

приведённые зависимости для метода Эйлера значительно отличаются от таковых же по предлагаемому методу хорд [1], а погрешность метода Эйлера резко возрастает с увеличением a_n .

Например, задана необходимая погрешность расчётов $\varepsilon = 1,0$ процент, то по методу Эйлера необходимо иметь $a'_n = 1$ км/ч и машинное время будет $t'_m = 7,8$ мин. Для предлагаемого метода заданная точность расчётов будет достигнута при $a''_n = 5$ км/час и машинное время потребуется $t''_n = 1,8$ мин.

Таким образом, затрата машинного времени уменьшается в 4,3 раза.

Кроме этого, весьма простой метод Эйлера даёт накопление ошибок расчёта (см. рис. 2). Величина ошибки на шаге интегрирования h_n определяется отношением и доходит при расчётах скорости до 30 процентов (рис. 2), а это оказывает соответствующие влияние на все последующие результаты.

Рисунок 1. Ожидаемая погрешность $\varepsilon = f(a_n)$ и затраты времени $t_c = f(a_n)$ в зависимости от предельной величины приращения a_n .

Рисунок 2. Сравнение кривой скорости движения $V = f(S)$ поезда, построенной методом Эйлера с действительной

2. Выявление и сравнение на основании математических исследований порядка погрешности на шаге интегрирования является одним из основных показателей эффективности метода.

Такие исследования проведены для существующих методов и предварительно сделаны для предлагаемого метода. В табл. 1 приведён порядок погрешности различных методов решения дифференциальных уравнений вида $y' = f(x, y)$. Заметим, что оценка погрешности метода Рунге - Кутты затрудни-

тельна [3,4] и в практике нередко применяют двойной пересчёт, вначале на шаге h и затем на шаге $2h$, чтобы иметь достоверные результаты.

3. Сложность программирования и затрат машинного времени, как правило, пропорционально числу обращений к правой части дифференциального уравнения на каждом шаге интегрирования, по которым можно судить о сложности методов решения (табл. 1). Интересным также является возможность ведения расчётов на переменном шаге интегрирования.

Таблица 1.

Погрешности различных методов решения дифференциальных уравнений вида $y' = f(x, y)$

№ п/п	Метод	Число обращений к правой части	Возможность ведения счёта при переменном шаге	Порядок погрешности на шаге
1	2	3	4	5
1.	Эйлера	1	да	h^2
2.	Усовершенствованные методы Эйлера	2	нет	h^3
3.	Рунге - Кутта	4-6 и более	да	$h^4 - h^5$
4.	Предлагаемый	2-3	да	$h^3 - h^4$

4. Оценку точности различных методов можно производить путём сравнительных расчётов на ЭВМ одного и того же уравнения при различных предельных значениях a_n , так как известно, что при минимальных практически возможных значениях величины a_n результаты расчётов почти перестают изменяться, асимптотически приближаясь к точному значению.

Например, по методу Эйлера было получено при $a_n = 0,5$ км/ч, почти точное решение уравнения (табл. 1), где приведены также и результаты решения его разными методами при различных значениях предельного приращения a_n .

Ясно, что метод, дающий практически точные результаты, близкие к их абсолютному значению, уже при относительно больших значениях a_n будет

выгодным, так как этот метод не потребует большой затраты машинного времени, а следовательно и будет более эффективным.

Разработанный метод пригоден для большой группы уравнений вида $y' = f(x, y)$, при этом высокая точность результатов достигается с умеренной затратой машинного времени.

Только по решению задач оптимизации, связанных с движением поездов на Узбекских железных дорогах, включающих известное дифференциальное уравнение движения поезда, в настоящее время можно при использовании более совершенных методов решения указанного уравнения, за счёт экономии машинного времени, значительно снизить денежные затраты в течение года, обеспечивая при этом необходимую точность результатов вычислений.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. К решению дифференциальных уравнений вида $y' = f(x, y)$ методом хорд [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10707> (дата обращения: 07.09.2020).
2. Абляимов О. С. Выбор предварительного шага интегрирования при расчётах на ЭВМ дифференциальных уравнений вида $y' = f(x, y)$ [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10715>.
3. Березин И. С. Методы вычислений [Текст] / И. С. Березин, Н. П. Жидков. - Изд. 2-е. - М.: ГИФМЛ, 1962. - Т. 1. - 464 с.
4. Демидович Б. П. Численные методы анализа [Текст] / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. 3. Шувалова // Учебное пособие. - 3-е изд., перераб. - М.: Наука, 1967. - 368 с.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЖИНИРОВАНИЯ ПО КАЧЕСТВЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ВОЛОКНА ПУТЕМ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ПИЛ НОВЫМ АБРАЗИВНЫМ МАТЕРИАЛОМ

*Искандарова Нигора Курванбековна**ассистент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: nigora1211@mail.ru**Шин Илларион Георгиевич**д-р техн. наук, профессор, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Узбекистан, г. Ташкент,
E-mail: igshin54@mail.ru*

INCREASING THE EFFICIENCY OF GINNING IN TERMS OF FIBER QUALITY BY FINISHING THE SAW TEETH WITH A NEW ABRASIVE MATERIAL

*Nigora Iskandarova**Assistant, Tashkent institute of textile and light industry,
Uzbekistan, Tashkent**Illorion Shin**Doctor of Technical Sciences Professor, Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты абразивоструйной обработки зубьев джиновых пил, позволившего за счет высокой режущей способности новых абразивных частиц- купершлака обеспечить оптимальную переходную поверхность с радиусом округления, обеспечивающим сохранность природных свойств хлопкового волокна.

ABSTRACT

The article presents the results of abrasive blasting of teeth of genie saws, which, due to the high cutting ability of new abrasive particles - copper slag, provide an optimal transition surface with a rounding radius that ensures the preservation of the natural properties of cotton fiber.

Ключевые слова: абразивоструйная обработка, джиновая пила, пескоструйный аппарат, давление, угол атаки, радиус округления, качество волокна.

Keywords: abrasive blasting, genie saw, sandblasting machine, pressure, angle of attack, rounding radius, fiber quality.

Джины, являясь основной технологической машиной поточной линии джинирования при первичной обработке хлопка, несут главную ответственность за формирование качественных показателей хлопкового волокна, которые определяются его природными свойствами и технологическими условиями джинирования. В спектр технологических требований при джинировании хлопка входят: полный съем волокна с семян при воздействии на него рабочего органа и при этом не должны образовываться пороки волокна и поврежденности семян; исключение попадания летучек хлопка в массу семян, выходящих из джина; высокий очистительный эффект джина по

сорным примесям и улюку [6]. Засоренность волокна и пороки джинирования (кожица с волокном и пухом, рваные волокна, узелки, жгутики, битые семена) существенно снижают качество вырабатываемой пряжи и тем самым отрицательно влияют на процесс прядения, делая его трудоемким и некачественным.

Все технологические процессы и переходы при первичной обработке хлопка должны быть строго увязаны с задачей максимального сохранения природных свойств волокна, определяющих ценность его как текстильного сырья и характеризующихся многими параметрами [3]: длина (верхняя средняя, штапельная, средняя), показатель микронейр (тонина

и зрелость), трэш код, удельная разрывная нагрузка, удлинение при разрыве, степень желтизны и др. Качество вырабатываемой пряжи в большой степени зависит от свойств и вида сырья. При этом 60-90% себестоимости пряжи составляет стоимость сырья [5]. Важнейшими среди приведенных выше характеристик хлопкового волокна для производства пряжи являются верхняя средняя длина (UHML), мм; удельная разрывная нагрузка (Str), сН/текс; удлинение при разрыве (Elg), %. Эти характеристики непосредственно влияют на прядильную способность волокна, определяемую получением пряжи с минимально возможной линейной плотностью для данного волокна при нормальном состоянии прядильной машины.

Все джинные и линтерные пилы после снятия фасок подвергают отделочной операции – обработке в песочной ванне абразивным материалом в свободном состоянии. Данная обработка предназначена для удаления заусенцев и неровностей на рабочих поверхностях зубьев. В качестве абразивного материала применяют кварцевый речной (800...2600 мкм) или карьерный песок (1250...3500 мкм), а также измельченная стружка из чугуна [7,9]. К сожалению, применяющаяся на хлопкозаводах отделочная операция в виде обработки в песочной ванне пыльных дисков в составе пыльного цилиндра не дает удовлетворительных результатов в связи с возросшими требованиями к качеству волокна и низкими режущими свойствами кварцевого песка по сравнению с другими абразивными материалами. Некоторое улучшение микропрофиля зуба за счет увеличения радиуса скругления переходных поверхностей было достигнуто применением в качестве абразивного материала карбида кремния [9].

Нами предлагается другая кинематическая схема отделочной обработки зубьев джинных пил. Так, вместо традиционного вращения пыльного цилиндра в песочной ванне и контакта с неподвижной массой абразивных частиц (песок, карбид кремния) предложена схема обработки, когда на неподвижный пыльный диск будет направлен регулируемый поток абразивных частиц, т.е. осуществлена абразивоструйная обработка с помощью специальных абразивоструйных камер [2].

Для абразивоструйной обработки деталей применяют не только камеры промышленного производства но и камеры заводского изготовления подобного напорного типа (рис. 1). Следует отметить, что на технологию абразивоструйной обработки оказывает влияние вид абразивного материала, его форма и размеры, а также его физико-механические свойства (твердость, динамическая прочность, абразивная способность). Интенсивность абразивоструйной обработки и качество обрабатываемой поверхности сильно зависят от давления сжатого воздуха p (атм), угла атаки абразивных частиц α (град) и времени обработки t (мин).

Рисунок 1. Абразивоструйный аппарат для поверхностной обработки металлических изделий

Обработка боковых граней зубьев джинных пил направленным потоком абразивных частиц совпадает со схемой дробеструйной обработки [8], когда можно регулировать в широком диапазоне кинетическую энергию ударяющихся частиц. Данное регулирование состоит в изменении кинетической энергии ΔW абразивных частиц за счет изменения массы m (размера) и скорости частиц V :

$$\Delta W = W - W_0; W_0 = m_0 V_0^2 / 2; W = m v^2 / 2,$$

где m_0 , V_0 , W_0 – соответственно первоначальная масса, скорость и кинетическая энергия абразивной частицы;

m , V , W – соответственно измененная масса, скорость и кинетическая энергия абразивной частицы.

Варьирование скорости потока абразивных частиц осуществляется изменением давления сжатого воздуха p . Широкие возможности регулирования процессом абразивоструйной обработки определяются также изменением угла атаки α частиц. Так, даже при постоянном значении массы m и скорости V частиц в зависимости от угла атаки α происходит изменение соотношения между начальной (полной) кинетической энергией и энергией, действующей на контактный поверхностный слой и вызывающей упругопластическую деформацию металла, доводя его до разрушения в виде микрорезания. Кроме возможности эффективного регулирования процессом абразивоструйной обработки с позиции формирования требуемого состояния рабочих поверхностей деталей, другим важным технологическим преимуществом является то, что имеется возможность обработки труднодоступных участков деталей, отличающихся к тому же малой жесткостью и сложной конфигурацией. Именно таким участком является впадина зубьев пыльных дисков и линтеров.

Экспериментальные исследования по абразивоструйной обработке зубьев джинных пил для создания рационального профиля их переходных поверхностей, обеспечивающих максимальное сохранение природных свойств хлопковых волокон, были

проведены на пескоструйном аппарате (рис. 1), установленном и эксплуатирующемся в механическом цехе Ташкентского механического завода (бывшее ТАПОиЧ). Данное оборудование по принципу действия не отличается от промышленных установок и определяется аналогичными техническими характеристиками: габариты рабочей зоны; рабочее давление $p=2\ldots 4$ атм ($0,2\ldots 0,4$ МПа); расход сжатого воздуха – $0,6\ldots 1,5$ м³/мин; производительность – $5\ldots 20$ м²/час.

В качестве абразивного материала был использован новый искусственный материал – купершлак, состоящий из следующих компонентов: FeO – $40\ldots 50\%$; SiO₂ – $25\ldots 35\%$; MgO – не менее 5% ; CuO – $6\ldots 10\%$. Его физико – механические свойства: насыпная масса – $1,7$ г/см³; основной размер гранул ($0,8\ldots 2,5$ мм) – $83,5\%$; твердость по шкале Мооса – не менее $6,0$; абразивная способность – $0,44$. Абразивная способность характеризуется отношением массы снятого (диспергированного) материала к массе абразивного (шлифовального) при заданных условиях их взаимодействия. Абразивная способность у самого твердого материала в природе – природных и синтетических алмазов принята за единицу. Следует отметить некоторую условность оценок абразивной способности различных абразивов, так как в действительности режущие способности абразивных инструментов в большой степени определяются физико – механическими свойствами обрабатываемых материалов и составом инструмента.

Сравнивая абразивную способность купершлака с распространенными абразивными материалами [1], можно заключить, что у данного материала абразивная способность в несколько раз выше, чем у природных (корунд, наждак, грант, кремнезоль) и искусственных абразивных материалов (электрокорунд). Абразивная способность купершлака мало отличается от таковой для карбида кремния (зеленый – $0,45$; черный – $0,40$). Таким образом, сравнительно высокая твердость и абразивная способность купершлака являются основой для процесса микрорезания при абразивоструйной обработке рабочих поверхностей деталей машин.

Задачей абразивоструйной обработки боковых граней зубьев джидных пил было удаление микрорезанием вершины заусенцев, образовавшихся после снятия фасок шлифованием и формирование переходных поверхностей на границе передней поверхности зуба с двумя боковыми гранями с радиусом скругления в пределах $0,1\ldots 0,15$ мм.

На рис. 2 показана схема контактного взаимодействия и система сил, возникающих при ударе абразивной частицы по поверхности металла. Необходимым условием для внедрения абразива в металлическую поверхность на глубину h является превышение твердости и прочности частицы над обрабатываемым металлом, а достаточным условием – необходимый уровень режимных параметров обработки (скорость частиц, давление сжатого воздуха, угол атаки). Первый этап контактного взаимодействия характеризуется внедрением абразива на глубину h тонкого по-

верхностного слоя металла под действием радиальной составляющей P_y силы удара P_{y0} и сопровождается формированием упругопластической зоны A вокруг пластического отпечатка. На следующем этапе абразивная частица, внедрившись на определенную глубину h , совершает поступательное движение под действием тангенциальной составляющей P_z силы удара P_{y0} . При этом образуется поверхность изнашивания (царапания), являющаяся результатом проявления комплекса взаимосвязанных процессов: упругое отщеснение, пластическое деформирование, микрорезание. Таким образом, общим в процессах внедрения и царапания (микрорезания) абразивного зерна по отношению к пластичному металлу является вызываемая этими процессами пластическая деформация металла.

Рисунок 2. Схема контактного взаимодействия при ударе абразивной частицы и разложение силы удара P_{y0} . A – зона упругопластических деформаций; B – зона микрорезания (“пропахивания”).

Так как отделка зубьев джидных пил в потоке абразивных частиц из купершлака предусматривает равномерное удаление острой вершины заусенцев по всей длине передней и задней поверхностям, включая и труднодоступные места во впадине зуба, то необходимо обеспечить режимом обработки достаточную глубину внедрения индентора h за счет давления сжатого воздуха p и угла атаки α . Как показали эксперименты, давление воздуха в пределах $3\ldots 4$ атм создает необходимый уровень кинетической энергии абразивных частиц для осуществления микрорезания (царапания). Угол атаки принят равным 45° , при котором достигается максимальный съем металла в виде микростружки, что соответствует данным экспериментальных исследований [4] по изнашиванию нормализованной углеродистой инструментальной стали У7 в воздушно-абразивном потоке.

В результате абразивоструйной обработки боковых граней зубьев джидных пил получены рациональные формы их переходных поверхностей с радиусом скругления $r = 0,14\ldots 0,20$ мм, измеренным на специальных микрошлифах с показом поперечного сечения зуба. Радиус переходной поверхности на ло-

кальном участке зуба по высоте фиксировали с помощью отсчетного микроскопа МПБ-2 со специальной насадкой (радиусной головкой), где четко видны радиусы – шаблоны и к которым подводится измеряемая переходная поверхность. За результат измерения берется визуальная оценка при максимальном совпадении двух профилей.

Для проверки эффективности абразивоструйной обработки зубьев пильных дисков новым абразивным материалом – купершлаком по качественным показателям волокна были проведены производственные испытания в условиях хлопкоочистительного завода “Узбекистан” Ташкентской области. Экспериментальные и заводские пилы были установлены на 90-пильных джинах 7ДП, работавших в одинаковых условиях при переработке хлопка-сырца урожая 2019 года, селекции “Султон”,

первого сорта ручного сбора, засоренностью 2,6% и влажностью 9,1%.

В таблице 1. представлены результаты исследований качественных показателей волокна, проведенных в лаборатории АО “Пахтасаноат илмий маркази” с помощью измерительной системы испытаний хлопкового волокна высокой производительности HVI (High Volume Instrument). Пробы волокна отбирались одновременно с двух джинов. Первый джин был укомплектован пильными дисками, зубья которых были подвергнуты традиционной обработке в песочной ванне (заводская технология). На втором джине были установлены 45 пильных дисков с обработанными зубьями в потоке абразивных частиц размером 0,8...1,1мм под давлением 3...4 атм, остальные 45 пил кроме обработки в потоке абразивных частиц прошли обработку в песочной ванне.

Таблица 1.

Сравнительные данные по некоторым стандартным параметрам качества хлопкового волокна после джинирования

№ п.п.	Вид отделочной обработки зубьев джиновых пил	Параметры хлопкового волокна по O'z Dst 604:2016					
		Верхняя средняя длина, мм (UHML)	Средняя длина, мм (ML)	Индекс равномерности по длине, % (Unf)	Индекс коротких волокон, % (SFI)	Удельная разрывная нагрузка, сН/текс (Str)	Удлинение при разрыве, % (Elg)
1	Обработка в песочной ванне (заводские пилы)	26,95	22,41	83,15	11,2	26,15	15,05
2	Абразивоструйная обработка (без снятия фасок шлифовкой)	28,05	23,07	82,25	10,4	27,7	20,35
3	Абразивоструйная обработка + песочная ванна	28,13	23,43	83,29	10,1	27,85	18,54

Как следует из таблице 1 основные параметры качества волокна (верхняя средняя длина; удельная разрывная нагрузка; удлинение при разрыве), определяющие прядильные свойства и качество вырабатываемой пряжи, полученные после джинирования пильными дисками с зубьями, обработанными потоком абразивных частиц, превосходят таковых после джинирования заводскими пилами. Так, верхняя средняя длина волокна больше на 1,1 мм, удельная

разрывная нагрузка – на 0,55 сН/текс, а удлинение при разрыве – на 5,3%. Некоторое превосходство имеется и по другим качественным показателям: средняя длина, индекс коротких волокон.

Экспериментальными исследованиями установлено, что волокна, полученные после джинирования заводскими пилами имеют часто встречающиеся механические повреждения в виде характерных надразов волокна (рис. 3).

Рисунок 3. Характерные надразы волокон при джинировании пильными дисками, обработанными в песочной ванне, x100

Данный дефект волокна снижает прочность на разрыв и инициирует разрушение волокна, что приводит как к увеличению доли коротких волокон, так и уменьшению верхней средней длины волокна. Ка-

чество волокон, полученных дженированием пильными дисками с абразивоструйной обработкой зубьев, значительно выше (рис. 4) и надрезы волокон практически отсутствуют.

Рисунок 4. Волокна, полученные при дженировании пильными дисками, обработанными потоком абразивных частиц из купершлака, $\times 100$.

Таким образом, в результате абразивоструйной обработки частицами из нового абразивного материала – купершлака зубьев пильных дисков для джинов значительно улучшилось состояние хлопковых волокон с максимальным сохранением их природных свойств. Среди последних наиболее важным является прочность волокон, так как она непосредственно влияет на процесс прядения, происходящая при определенных силовых нагрузках и скоростных режимах. Уменьшение прочности волокон происходит из-за

механических повреждений в виде надрезов, резко уменьшающих площадь сечения и сопротивление действию растягивающих напряжений, а потому увеличивающих обрывность нитей при получении пряжи и количество коротких волокон, не пригодных для прядения. Обработка зубьев пил потоком абразивных частиц с высоким режущим свойством создает благоприятный микропрофиль переходных поверхностей.

Список литературы:

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. / Под ред. А.Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 391 с.
2. Абразивоструйная камера Contracor CAB-110S/CAB-1335 <http://pm-komplekt.ru/catalog/abrozivostroynnye-kamery/abrazivost-ruynaga-kamera-contractor-cab-110S-cab-135S/>.
3. Волокно хлопковое. О'z Dst 604:2016. - Введ. 2016-23-08.- Ташкент: Узстандарт, 2016.- 19 с.
4. Кашеев, В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. –М.: Машиностроение, 1978. – 213 с.
5. Механическая технология текстильных материалов –М.: Легпромбытиздат, 1989.-512 с.
6. Мирошниченко Г.И. Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. –М.: Машиностроение, 1972. -486 с.
7. Первичная переработка хлопка. / Под общ. ред. Э.З. Зикриёева. – Ташкент: Мехнат, 1999. – 398 с.
8. Шин И.Г. Технологические методы обеспечения качества и прогнозирования долговечности деталей машин первичной обработки хлопка.: Автореф. дис...докт.техн.наук. – Ташкент: ТИТЛП, 2014.-90с.
9. Ширяев В.В. Исследование микрогеометрии зубьев джиновых пил // Реф.сб. Хлопковая промышленность. – Ташкент, 1982.- №6. – С.13-14.

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, СКОРОСТНОГО И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ РАЗРАБОТАННОГО ВОЛОКНООЧИСТИТЕЛЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Мадрахимов Дилишодбек Усупжонович

главный научный сотрудник, АО "Paxtasanoat ilmiy markazi",

Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: Madrahimov_dilsh@mail.ru

Муминов Улугбек Мамитбекович

ассистент, Андижанский машиностроительный институт,

Узбекистан, г. Андижан

E-mail: Mirzoulugbek1980@gmail.com

INFLUENCE OF PRODUCTIVITY OF SPEED AND AERODYNAMIC MODES FROM THE DEVELOPED FIBER CLEANER ON TECHNOLOGICAL INDICATORS

Dilshod Madrahimov

PhD., Chief Researcher, JSC "Paxtasanoat ilmiy markazi",

Uzbekistan, Tashkent

Ulugbek Muminov

Assistant Andijan Machine-Building Institute

Uzbekistan, Andijan

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты проведенных исследований разработанного и внедренного на Бузском хлопкозаводе волокноочистителя по определению технологических показателей работы в зависимости от частоты вращения пильных цилиндров и аэродинамического режима работы.

ABSTRACT

In this article is given the results of the research carried out on the fiber cleaner developed and implemented at the Buz ginnery plant to determine the technological performance indicators depending on the rotational speed of the saw cylinders and the aerodynamic operating mode.

Ключевые слова: волокна, волокноочиститель, очистительный эффект, волокнистость отходов, статическое давление.

Keywords: fibers, fiber cleaner, cleaning effect, fibrous waste, static pressure.

На отечественных хлопкозаводах волокно средневолокнистых сортов очищается на индивидуальных волокноочистителях установленных после каждого пильного джина.

По результатам проведенных работ была разработана конструкция нового волокноочистителя в АО «Пахтасаноатилмиймаркази» (рис. 1), изготовлена и внедрена в технологическую линию Бузского хлопкоочистительного завода Андижанской области [3].

Рисунок 1. Принципиальная схема новой конструкции и общий вид внедренного волоконоочистителя.
 1-рама; 2-корпус волоконоочистителя; 3-4- крайние стенки; 5- средняя стенка перегородка; 6 и 7-опоры; 8 и 9 корпуса подшипников; 10-пильный цилиндр; 11-колосники; 12-пильные валы; 13-пилы; 14-междупильная прокладка; 15-затяжные гайки; 16-косая шайба; 17-шпонка; 18-электродвигатель

Известно, что производительность, скоростной и аэродинамический режимы волоконоочистителей влияют на технологические показатели – очистительный эффект и волокнистость отходов.

Скорость вращения пильных цилиндров неоднократно являлась объектом исследований, которые позволили найти прямую зависимость, связанную с очистительной способностью волоконоочистительных машин [2].

Однако основные проведенные исследование проводились с использованием существующих волоконоочистительных машин марки ЗОВП-М.

Конструкция и технологический процесс разработанного и внедренного волоконоочистителя на Бузском хлопкоочистительном заводе значительно

отличается от серийных волоконоочистителей. Поэтому целесообразно изучение этих факторов для разработанного волоконоочистителя.

Опыты по определению влияния скоростного режима на технологические показатели волоконоочистителя проводили при одном и том же аэродинамическом режиме, чтобы этот показатель не внес погрешностей в полученные результаты.

Частота вращения пильных цилиндров волоконоочистителя изменяли с помощью преобразователя частоты. При проведении опытов использовались хлопок сырец Андижон-37, первый промышленный сорт, с предварительной влажности 9,5 % и засоренности 2,9 %. Повторность каждого варианта опытов трехкратная, длительность опытов – получение 3 кипа волокна. Результаты проведенных опытов представлены на рис. 2.

Рисунок 2. Зависимость очистительного эффекта (К) и волокнистости (В) отходов от скорости вращения пильных цилиндров волоконоочистителя

Из графиков, приведенных на рис. 2, следует, что, с увеличением скорости вращения пильных цилиндров волоконоочистителя волокнистость отходов (В) снижается. Если при частоте вращения пильных

цилиндров 1500 об/мин волокнистость отходов составляет 22 %, то при 1000 об/мин составляет 28,6 %, то есть, при снижении оборотов в 1,5 раза волокнистость отходов возрастает в 1,3 раза.

С увеличением скорости вращения пильных цилиндров очистителя повышается очистительный эффект (K) и рекомендуемой частоте вращения (1500 об/мин) имеет максимальное значение.

Очистка волокна в очистителях прямооточного типа проходит в аэродинамических потоках, технологические показатели машины зависят от аэродинамического режима работы. Пильные цилиндры волоконноочистителя не только очищают волокно, но и выполняют ряд аэродинамических функций, связанных со взаимодействием нескольких различных воздушных потоков. Поэтому схема движения воздушных масс внутри волоконноочистителя – явление довольно сложное и полностью не изучено.

Воздушный поток способствует транспортированию волокна, захвату его зубьями пил, перебросу прядок волокна с одного пильного цилиндра на другой и выводу из машины в волоконотвод; кроме того, возвращает через просветы колосников угарной камеры выпавшее вместе с отходами волокно. Чем больше воздуха подсасывается через колосниковые решетки, тем меньше волоконистость отходов и наоборот. Следовательно, при разработке новых или модернизированных волоконноочистительных устройств необходимо знать количество подсасываемого воздуха через колосниковые решетки, при котором достигаются наилучшие технологические показатели.

Теоретические расчеты [1] показали, что пильный цилиндр волоконноочистителя при частоте вращения 1500 об/мин за счет сил трения (вязкость воздуха) полностью увлекает за собой всю воздушную массу, находящуюся в междупильном пространстве.

Объем воздуха, увлекаемого пильным цилиндром в секунду, выражается следующей зависимостью:

$$Q_{max} = \frac{\pi \Delta n m (D^2 - d^2)}{240} \quad (1)$$

где Q_{max} – максимальное количество воздуха, м³/с;
 Δ – толщина междупильной прокладки, м;
 n – частота вращения пильного цилиндра, об/мин;
 m – количества пил на валу, шт.;
 D и d – диаметр пил и междупильных прокладок, м.
 Общий расход воздуха складывается из:

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_n + Q_{ц}, \quad (2)$$

Где Q_1 – количества воздуха, подводимого к пильному цилиндру в секунду, м³;

Q_n – подсос воздуха через колосниковую решетку;

$Q_{ц}$ – воздух, постоянно циркулируемый в междупильном пространстве.

Из междупильного пространства пильного цилиндра сбрасывается столько воздуха, сколько поступает. Чем больше воздуха подводится к пильному цилиндру, тем он меньше подсасывает через колосниковую решетку и наоборот.

Чтобы изменить Q_n , достаточно увеличить или уменьшить один из оставшихся компонентов. Снизить подачу воздуха от джина при существующей системе съема волокна на джинах невозможно, так как для их нормальной работы необходимо создать определенные аэродинамические условия (статическое давление).

Наиболее приемлемый способ влияния на постоянную циркуляцию – изменение статического давления воздуха в зоне отвода воздуха от пильного цилиндра. При уменьшении разрежения в этой зоне сила подсоса ослабевает.

По технологическому регламенту [4] рекомендуется на батарею джинов 5ДП-130 (4ДП-130) из трех машин статическое давление от +20 до –125 Н/м² и расход воздуха составляет 2,4 м³/с. Поэтому статическое давление в отводящей горловине внедренного волоконноочистителя поддерживается на уровне от +20 до –125 Н/м², а волоконистость отходов находится в пределах 22 %.

При проведении опытов статическое давление на выходе волоконноочистителя изменяли от –120 до –160 Н/м². При этом пропускная способность волоконноочистителя, то есть производительность джина по волокна не менялась и находилась в пределах 1200 кг/час для всех вариантов опытов.

Результаты опытов показали, что применяемый на хлопкозаводе вентилятор 1ВЦ для отсоса воздуха от общепатареинного конденсора 3КБ отсасывает до 12 м³ воздуха в секунду, что при правильном распределении воздушных потоков позволяет поднять разрежение на выходе волоконноочистителя до –160 Н/м² вместо –125, что дает сокращение содержания волокна в отходах с 23 до 16 % при снижении очистительного эффекта лишь на 4 % (рис. 3).

Рисунок 3. Зависимость очистительного эффекта (K) и волоконистости (B) отходов от статического давления на выходе из волоконноочистителя

Исследования показали, что работа волокноочистителя в выбранном режиме (-160 Н/м^2) позволит снизить потери волокна с отходами и повысить его выход на 0,2-0,3 %.

По результатам опытов можно заключить, что частота вращения волокноочистителя должна быть

равным 1500 об/мин и для сокращения волокнистости отходов статическое давление на выходе волокноочистителя до -160 Н/м^2 , что дает повышение выхода волокна на 0,2-0,3 %.

Список литературы:

1. Котов Ю.С., Лыс Я.Х. Влияние параметров междупильных прокладок волокноочистителя на технологические и аэродинамические показатели // Журнал Хлопковая промышленность. – Ташкент, 1987. - №4 С.23-24.
2. Котов Ю.С., Худковский Б.А. Влияние производительности, скоростного и аэродинамического режимов волокноочистителя ЗОВП-М на технологические показатели // Журнал Хлопковая промышленность. – Ташкент, 1979. - №2 С.18-19.
3. Модернизация прямоточного пильного волокноочистителя для повышения его технико-экономических показателей за счет усовершенствования конструкции пильного цилиндра. Отчет о научно-исследовательской работе по проекту №ЕА-3-004. – Ташкент, 2017. 46 с.
4. Пахтани дастлабки ишлашнинг мувофиқлаштирилган технологияси ПДИ 70 -2017 . -Тошкент, 2019, 92 б.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ КОЛОСНИКОВЫХ РЕШЕТОК ОЧИСТИТЕЛЕЙ ХЛОПКА ОТ КРУПНОГО СОРА

Мадумаров Илхом Дадаханович

*д-р техн. наук, профессор, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Узбекистан, г. Ташкент*

Ташпулатов Дилшод Салихович

*соискатель, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: usmanov.khayrulla@mail.ru*

IMPROVEMENT OF THE CLASSIFICATION OF GRID GRIDS OF COTTON COARSE LITTERS CLEANERS

Ilkhom D. Madumarov

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent Institute of Textile and Light Industry
Uzbekistan, Tashkent*

Dilshod S. Tashpulatov

*Applicant Tashkent Institute of Textile and Light Industry
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Усовершенствованная классификация колосниковых решеток очистителей хлопка от крупного сора определяет пути модернизации рабочих органов агрегатов.

ABSTRACT

The improved classification of grates of cotton cleaners from coarse litter determines the ways of modernizing the working bodies of the units.

Ключевые слова: Хлопок, крупный сор, очиститель, колосники, классификация.

Keywords: cotton, coarse litter, cleaner, grates, classification.

Введение. В литературных источниках не достаточно приведены методы систематизации или классификации колосниковых решеток хлопкоочистительных машин, что вызывает некоторые трудности при анализе и совершенствовании очистительных машин.

Результаты исследований. Для более полного анализа и оценки зависимости очистительного эффекта хлопка от конструктивных особенностей колосниковых решеток хлопкоочистительных машин, а также определения путей модернизации агрегатов, в частности УХК, разработана усовершенствованная классификация колосниковых решеток (рис.1).

При составлении классификации основное внимание уделялось на тип колосниковых решеток по конструктивным и их функционально – техническим свойствам. За исходные группы колосниковых реше-

ток принимались неподвижные и подвижные колосники очистителей крупного сора. Далее рассматривались их вариации с известными элементами различия (новизны) с установлением взаимосвязи между ними. Учитывали, что колосники могут быть трубчатые, прутковые из металла или из пластмассы.

В существующих серийных очистителях от крупного сора установлены приведенные в классификации неподвижные колосники одинакового размера круглого сечения для очистки хлопка от крупных сорных примесей. Как видно из классификации, при установке неподвижных колосников в очистителях крупного сора имеются резервы увеличения очистительного эффекта путем выбора оптимальных геометрических параметров колосников, а также их относительного расположения в колосниковой решетке.

Рисунок 1. Классификация колосниковых решеток очистителей хлопка-сырца от крупного сора

Другим путем увеличения очистительного эффекта является активизация рабочих поверхностей колосников за счет дополнительных конструктивных элементов (рифления, винтовые прорези, выступ и т.д.). Однако во многих случаях колосниковые решетки с активизированными колосниками в очистителях крупного сора приводят к повреждению волокон и семян хлопка, увеличению ухода летучек в отходы. Выполнение активизированных поверхностей колосников с полимерными покрытиями не дали жела-

емого эффекта. Поэтому активизированные колосники с покрытиями, хотя они и несколько повышают очистительный эффект, но не нашли промышленного применения. В этом плане эффективными является облеченные ресурсосберегающие колосники, изготовленные из полимерного композиционного материала.

В последние годы все больше проявляется тенденция роста рекомендаций со стороны ученых и конструкторов по повышению активности колосников, основанной на способе сообщения подвижности

(степени свободы) колосникам. Основоположными в этом направлении является разработки и исследования, приведенные в работах [1, 2].

Практическая реализация этого способа осуществляется двумя путями и можно различать две группы сорovyделяющих решеток, работающих на этом способе. В первую группу можно отнести колосниковые решетки, где колосники получают движение под действием технологической нагрузки, а во вторую – колосниковые решетки, где колосникам сообщается движение принудительно, с помощью привода.

В колосниковых решетках, выходящих в первую группу, колосники могут быть установлены свободно на шарнирных опорах, а также на упругих опорах. При очистке волокнистого материала, в частности, хлопка – сырца колосники совершают колебательное или вращательное – колебательное движение, а также могут вибрировать под действием технологической нагрузки. В результате этого появляется дополнительный эффект от движения колосников. Однако, так как подача хлопка – сырца не является равномерной, движения колосников не подчиняется какому – либо закону и контролирование технологического процесса очистки хлопка не всегда представляется возможным. Поэтому необходимо провести исследования по обоснованию параметров колосниковой решетки, позволяющие повышение очистительного эффекта.

Перспективными по нашему мнению являются сорovyделяющие решетки, отнесенные ко второй группе. В этом случае колосникам могут быть сообщены вращательное, колебательное или крутильно – колебательное движения строго по требуемому закону, согласующиеся с параметрами очистителя, при котором происходит более оптимальное выделение сорных примесей из массы. Но, при этом необходимо

дополнительный привод, значить дополнительные мощности и производственные площади.

В практике очистки хлопка известны также колосниковые решетки, которые совершают поступательное движение. Конструкция таких сорovyделяющих решеток хотя и не разнообразна, они по нашему мнению являются перспективными, так как при правильном выборе линейной скорости подвижной колосниковой решетки и оборотов вращения рабочего барабана создается благоприятные условия для выделения сорных примесей, приводящий увеличению очистительного эффекта при сохранении природных качеств хлопка – сырца. Изготовление единой бесконечной колосниковой решетки с несколькими секциями с одним приводом немного упрощает конструкцию очистителя, а также появляется возможность уменьшения кратности очистки за счет повышения очистительного эффекта.

Но, эти конструкции сложны по конструкции, требуют дополнительных затрат и поэтому они не нашли практическое применение.

Выводы. Таким образом, на основе предложенной классификации конструкций колосниковых решеток по их функционально – технологическим свойствам можно предвидеть перспективу развития конструкций колосников и колосниковых решеток, основанных на эффективных способах очистки хлопка от крупного сора. В этом плане авторами разработан ряд конструкций колосниковых решеток с колосниками, при изготовлении которых применялись устойчивые полимерные композиционные материалы [4, 5].

Таким образом, усовершенствованная классификация колосниковых решеток очистителей хлопка от крупного сора дает возможность и определяет пути модернизации рабочих органов агрегатов.

Список литературы:

1. D.S.Tashpulatov, A.J.Muradov, A.Juraev, J.K.Gafurov, S.Vassiliadis. Design development and parameters calculation methods of plastic diamond pattern bars on resilient supports in ginning machines // Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference (AITAE 2018) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 459 (2019) 012068 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/459/1/012068 (Scopus).
2. А. Джураев, С.М.Элмонов, Д.С.Ташпулатов, А.Ф.Плеханов, Р.О.Жилисбаева. Эффективная технология очистителя натурального волокна от примесей на упругих опорах и обоснование параметров колосника // Журнал «Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности», ИвГПУ, 2018, №6, С.70-75 (Scopus).
3. Е.И.Битус, А.Дж.Джураев, А.Ф.Плеханов, К.Э.Разумеев, Д.С.Ташпулатов. Колосниковая решетка очистителя волокнистого материала // Патент на изобретение РФ №2668544 по заявке №2017143328 от 12.12.2017г., Федеральная служба по интеллектуальной собственности ФИПС РФ (РОСПАТЕНТ).
4. Д.С.Ташпулатов, А.Ф.Плеханов, А.Дж.Джураев, Н.А.Королева, Н.Е.Фёдорова, Ш.С.Холдоров. Колосниковая решетка очистителя волокнистого материала Патент РФ №2710829 по заявке №2019119668 от 24.06.2019 г., Федеральная служба по интеллектуальной собственности ФИПС РФ (РОСПАТЕНТ).

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРОВ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ*Саидахмедов Актан Абдисамиевич**ст. преп., Навоийский государственный горный институт,
Узбекистан, г. Навои**E-mail: aktam.saidakhmedov@bk.ru**Хасанов Абдирашид Салиевич**д-р техн. наук, проф., заместитель главного инженера по науке АО «АГМК»
Узбекистан, г. Алмалык**Хужамов Умиджон Умаркулович**ассистент, Навоийский государственный горный институт
Узбекистан, г. Навои*RESEARCH OF THE INTENSIFICATION OF THE FILTERING PROCESS OF LEACHING
SOLUTIONS DURING THE PROCESSING OF INDUSTRIAL WASTE*Aktam Ab. Saidakhmedov**Senior lecturer, Navoi State Mining Institute,
Uzbekistan, Navoi**Abdirashid S. Khasanov**Doctor of Technical Sciences, Prof., Deputy Chief Engineer for Science of JSC "AGMK" (Almalyk Mining and
Metallurgical Combine),
Uzbekistan, Almalyk**Umidjon Um. Khuzhamov**assistant, Navoi State Mining Institute,
Uzbekistan, Navoi*

АННОТАЦИЯ

В работе приведены методы фильтрации, отстаивания и исследовано разделение нерастворимого остатка из пульпы, полученной в результате выщелачивания конвертерной пыли серной кислотой различной концентрации. Для каждого метода установлена оптимальная скорость осаждения в зависимости от времени и температуры. Изучена фильтруемость пульпы с осадками, образующаяся в процессе переработки пыли.

ABSTRACT

The paper presents the methods of filtration, settling and investigates the separation of the insoluble residue from the pulp obtained as a result of leaching converter dust with sulfuric acid of various concentrations. For each method, the optimum deposition rate is set depending on time and temperature. The filterability of the pulp with sediments, formed during the processing of dust, has been studied.

Ключевые слова: конвертерная пыль, серная кислота, растворение, пульпа, раствор, нерастворимый остаток, фильтрация, осветление, отстаивание, технология.

Keywords: converter dust, sulfuric acid, dissolution, pulp, solution, insoluble residue, filtration, clarification, settling, technology.

Нынешняя ситуация в горно-металлургической промышленности характеризуется интенсификацией современного оперативного производства в отрасли, интеграцией машин и оборудования, поиском нового

оборудования и, прежде всего, бесконечной гонкой, которая затрагивает обоганительную и химическую промышленность, металлургию и ряд других отраслей.

лей производств, степень экономических условий которых во многом определяет уровень хозяйственного благополучия республики.

При этом, одним из основных технологических процессов, определяющих эффективность работы обогатительной промышленности, предприятий цветной металлургии, и ряда других является, процесс фильтрации технологических пульп и сбросных растворов или шламов.

В данной работе показана возможность интенсификации процесса фильтрации при переработке конвертерной пыли медеплавильного завода АО «Алмалыкский ГМК». Конвертерная пыль представляет собой белый или светло-серый тонкодисперсный подвижный порошок с крупностью частиц менее $14\div30$ мкм [1].

Литературный обзор существующих методов переработки идентичных отходов показывает, что медь и цинк извлекают с использованием метода выщелачивания с применением серной кислоты. Исходя из физико-химических свойств конвертерной пыли, была разработана технологическая схема переработки, которая показывает, что при сернокислотном выщелачивании медь и цинк переходят в раствор. В процессе фильтрации и промывки из пульпы отделяется нерастворенный осадок и раствор, содержащий

сульфаты меди и цинка, которые переходят в процесс цементации для получения цементной меди и цинксодержащего полупродукта.

С целью извлечения ценных компонентов из конвертерной пыли опыты по выщелачиванию пыли проводили при соотношении Т:Ж=1:5 серной кислотой с содержанием серной кислоты $80\div120$ г/л в пульпе при температуре $60\div90^\circ\text{C}$, в течение 2 часов [2].

При переработке конвертерной пыли одной из лимитирующих стадий процесса является разделение фаз жидкой от твердого. Для определения скорости отстаивания (сгущение) и фильтрации пульпы были проведены исследования.

Исследование процесса фильтрации нерастворимого остатка проводили на модельной установке, состоящей из узлов накопителя, реактора с регулируемой температурой и вакуум-фильтра. В качестве фильтра использовали кислотостойкую фильтровальную ткань – «Хлорин».

Результаты фильтрации пульпы после кислотного выщелачивания конвертерной пыли приведены в таблице 1. Заметное влияние на скорость фильтрации и содержание влаги в кеке оказывает температура пульпы и разрежение, создаваемое при фильтрации.

Таблица 1.

Результаты фильтрации пульпы после кислотного выщелачивания конвертерной пыли МПЗ АО «АГМК»

№	Разрежение, мм рт. ст.	Температура, $^\circ\text{C}$	Скорость фильтрации, $\text{кг/м}^2\cdot\text{ч}$		
			по пульпе	по осадку	по фильтрату
1	300	20	140,2	57,6	82,6
		30	156,8	66,3	90,5
		40	174,9	73,7	101,2
2	400	20	182,5	75,2	107,3
		30	198,4	83,3	115,1
		40	215,7	91,6	124,1
3	500	20	228,8	94,3	134,5
		30	249,9	103,0	146,9
		40	272,7	112,7	160,0

Результаты фильтрации показывают, что с повышением температуры с 20 до 40°C скорость фильтрации при разрежении 400 мм рт. ст. повышается с 75,2 до $91,6 \text{ кг/м}^2\cdot\text{ч}$ по кеку. При возрастании температуры пульпы с 20 до 40°C , её вязкость снижается на 20-30%, что весьма значительно. При повышении температуры наряду со снижением вязкости наблюдается и падение поверхностного натяжения жидкости. С увеличением разрежения скорость фильтрации увеличивается значительно, однако в фильтрат уходят тонкие частицы твердого продукта, вследствие извлечения разделяемых ценных компонентов уменьшается.

Твердые частицы в пульпе находятся в тонкодисперсном состоянии и при фильтрации они забивают поры фильтровальной ткани. В результате скорость фильтрации резко падает и влажность осадка повышается.

Для улучшения процесса фильтрации пульпы и снижения влажности осадка в технологическую схему были внесены изменения, по которой пульпа после выщелачивания направляется в сгуститель-отстойник, где под действием полиакриламида происходит быстрее осаждение твердых частиц, взвеси. Осветленный раствор откачивается и собирается в емкость для продуктивного раствора. Сгущенный осадок направляется в нутч-фильтр, после чего фильтрат направляется в емкость для продуктивного раствора. Осадок используется сырьем для извлечения свинца и благородных металлов.

Определение оптимальных условий разделения жидкой и твердой фаз неразрывно связано с осуществлением других технологических операций, так как пульпа после обработки руд серной кислотой подвергается отстаиванию или фильтрации. Скорость протекания этих процессов характеризуется физико-химическими свойствами дисперсионной

среды и дисперсной фазы. Так, скорость осаждения мелкодисперсной твёрдой фазы в жидком растворе зависит от формы и плотности частиц, размера, а также плотности и вязкости дисперсионной среды и при определенных условиях её можно определять из закона Стокса [3]:

$$v_0 = \frac{1}{18} d^2 (\delta_1 - \delta_2) \frac{1}{\mu}$$

где, v_0 - скорость оседания частиц, м/с; d - диаметр частиц, м; δ_1 - плотность частицы, кг/м³; δ_2 - плотность среды, кг/м³; μ - коэффициент вязкости среды, кг·с/м².

Тонкодисперсные взвеси в режиме седиментации обычно отстаиваются без чётко выраженной границы с постепенным осветлением слоя суспензии и увеличением массы плотного осадка на дне посуды [3].

Исследования процесса отстаивания проводили в мерном цилиндре, ёмкостью 1 дм³ из термостойкого стекла. цилиндр снаружи обогревался горячей водой. Измеряли температуру цифровым термометром. Из реактора сернокислотную пульпу выливали в цилиндр и регулировали температуру до заданного зна-

чения. Суспензию в цилиндре активно перемешивали в течение 30 с. Вынув мешалку из цилиндра, включали секундомер и наблюдали за передвижением границы раздела осветлённого и сгущённого слоев.

Нами изучалось влияние различных физико-химических факторов на процесс отстаивания пульп, полученных при переработке конвертерной пыли сернокислотным выщелачиванием: - влияние длительности процесса; - влияние температуры; - влияние поверхностно-активного вещества (полиакриламида - ПАА).

Время осаждения суспензии регистрировали по количеству осветленной части пульпы при температуре 20, 40 и 60°C.

Степень осветления ϕ , (%) вычисляли по формуле [3]:

$$\phi = \frac{V_{oc}}{V_{общ.}} \cdot 100$$

где, V_{oc} - объем осветленной части, см³; $V_{общ.}$ - общий объем суспензии, см³.

Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты отстаивания пульпы кислотного выщелачивания конвертерной пыли МПЗ АО «АГМК»

t, °C	Степень осветления, %								
	10 мин	20 мин	30 мин	40 мин	50 мин	60 мин	70 мин	80 мин	90 мин
без добавления ПАА									
20	10,3	31,4	50,4	63,9	69,8	71,7	73,1	73,9	74,6
40	12,2	35,3	54,3	68,7	73,3	75,0	76,6	77,9	78,4
60	14,6	36,8	55,9	72,3	75,7	77,4	77,9	78,5	79,1
с добавлением ПАА с концентрацией 20 г/м ³									
20	20,1	52,8	69,8	75,6	78,2	79,8	80,7	81,4	82,1
40	24,3	55,4	75,6	80,1	81,3	82,5	83,9	84,4	84,9
60	25,8	57,1	77,9	82,1	82,9	83,7	84,5	85,3	85,9

После определенного времени отстаивания частицы пульпы осаждаются на дне цилиндра. В начале частицы осаждаются быстрее, но после некоторого времени, когда сила сопротивления среды равна движущей силе, частицы осаждаются равномерно и медленно с неизменной скоростью.

Как видно на рисунке 1, при выдержке пульпы в течение 30 мин наблюдается интенсивное выпадение осадков, но при продолжении до 90 минут степень осветления пульпы продолжает увеличиваться незна-

чительно. Первоначальный участок (до 20 мин.) характеризует свободное падение относительно крупных частиц. Участки кривых между 20 и 40 мин. характеризуют переходную зону, где частички из зоны свободного падения переходят в зону стеснённого режима. Это вызвано увеличением концентрации твёрдых частиц в нижней части столба осветляемого раствора.

Полученные данные указывают, что на скорость осветления пульпы существенно влияет температура.

Рисунок 1. Изменение степени осветления пульпы после выщелачивания в зависимости от времени при температуре 40°C

Из таблицы 2. видно, что с увеличением длительности процесса отстаивания сернокислой пульпы при всех значениях её температуры, скорость осветления увеличивается.

Добавление ПАВ в отстаиваемую суспензию, например, полиакриламида (ПАА) также влияет на ход осветления пульпы. ПАА интенсифицирует процесс осветления пульп. С целью интенсификации процесса осветления сернокислотных пульп были проведены исследования с добавлением поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Во второй серии опытов исследовали влияние концентрации ПАА на процесс отстаивания. ПАА вносили в пульпу в виде раствора с концентрацией 20г/м³ перед перемешиванием пульпы. Полученные данные показывают, что добавление ПАА могут значительно влиять на скорость осветления.

Результаты опытов по исследованию влияния ПАА на процесс отстаивания представлены в таблице 2. Так, степень осветления пульпы на основе конвертерной пыли и серной кислоты через 10 минут достигает 24,3 и 12,2%, при максимальной степени осветления 78,4 и 84,9%, соответственно с добавлением и без добавления ПАА, при температуре 40°C.

Далее была определена скорость фильтрации осадка процесса отстаивания на вакуум-филт্রে. Важнейшими параметрами, определяющими эффективность процесса фильтрации, являются удельное сопротивление осадка и сопротивление фильтровальной перегородки [4].

Скорость фильтрации определялась на приборе вакуумного фильтрования ПВФ-47/3Б, поддерживая рабочий вакуум в пределах 0,35-0,96 кгс/см², фиксируя время фильтрации. Площадь поверхности фильтрующей перегородки равна 0,008 м². Результаты фильтрации приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты фильтрации сгущенного осадка после кислотного выщелачивания конвертерной пыли МПЗ АО «АГМК»

№	Разрежение, мм рт. ст.	Температура, °C	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч		
			по пульпе	по остатку	по фильтрату
1	300	20	378,5	155,5	223,0
		30	426,5	180,3	246,2
		40	470,5	198,3	272,2
2	400	20	474,5	195,5	279,0
		30	525,8	220,7	305,0
		40	573,8	243,7	330,1
3	500	20	526,2	216,9	309,4
		30	654,7	269,9	384,9
		40	709,0	293,0	416,0

Результаты по скорости фильтрации показали, что пульпа после выщелачивания и сгущения осадка

хорошо фильтруются независимо от исходного соотношения Т:Ж и температуры. Увеличение разрежения и температуры процесса фильтрации приводит к

повышению скорости фильтрации по пульпе, по твердой фазе и фильтрату (рис. 2.).

Рис. 2. Изменение скорости фильтрации сгущенного осадка в зависимости от разрежения и температуры

Как видно из полученных данных, повышение температуры и разрежение оказывает значительное влияние на скорость фильтрации пульпы. Так, повышение температуры с 20 до 40°C при разрежении 400 мм рт.ст. увеличивает скорость фильтрации по осадку с 195,5 кг/м²·ч до 243,7 кг/м²·ч, т.е. увеличивается скорость фильтрации пульпы до и после отстаивания почти в 2,7 раза.

Таким образом, анализ проведенных экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

- результаты исследования по осветлению и фильтрации пульпы указывают на её применимость в производственных условиях, где необходимо разделение раствора от нерастворенной части продукта.

- в результате включения процесса сгущения перед фильтрованием резко уменьшается количество шлама подаваемого на фильтровальную ткань, вследствие уменьшается время фильтрования, влажность осадков снижается до требуемых 16-18%, повышается извлечение сульфата меди и цинка в раствор, улучшается переход сульфата свинца и нерастворенных частей компонентов в осадок, которые в дальнейшем используются для извлечения свинца и благородных металлов, уменьшается расход электроэнергии, что приводит к повышению технико-экономических показателей переработки конвертерной пыли.

Список литературы:

1. Саидрахмедов А.А., Худояров С.Р., Мирзанова З.А. Разработка технологии получения свинца из конвертерной пыли // Научно-практический электронный журнал "ТЕХНИКА", № 2, 2020. – с 20-23.
2. Saidakhmedov A.A., Khasanov A.S., Buronov A.B. Studying technologies of producing metal lead from converter dust of copper melt factory JSC AMMC // Eurasian Union of Scientists № 7 (76), 2020. – p 4-7.
3. Запольский А.К. Сернокислотная переработка высококремнистого алюминиевого сырья. – Киев.: Наукова думка, 1981. – 208 с.
4. Жужиков В.А. Фильтрование: Теория и практика разделения суспензий. 4-е изд. М.: Химия, 1980. 398 с.
5. Saidakhmedov A.A., Buronov A.B. Analysis methods for processing dust of copper smelting factory // International conference on «Integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects» Navoi, Uzb. 2019y. p15-19.
6. Саидрахмедов А.А., Хамидов С.Б., Мажидова И.И. Исследование сернокислотного выщелачивания тонкой пыли медеплавильного производства // Научно-методический журнал "ACADEMY" №1 (52), 2020. с 6-8.
7. Б.Р.Вохидов, Б.И.Толибов. Интенсивное цианирование в современных методах переработки золотосодержащих руд // "Фан ва техника тараққиётида ёшлар" мавзусидаги Олий ўқув юртлири иктидорли талабалари, магистрлари ва ўрта махсус касб-хунар таълим муассасалари иктидорли ўқувчиларининг илмий амалий анжумани, Навои, 2012. –С63
8. Хасанов А. С., Толибов Б. И. Исследование возможности процесса окисления сульфидных материалов в печи для интенсивного обжига // Горный журнал №9, 2018. –С85-89. DOI: 10.17580/gzh.2018.09.14. <http://www.rudmet.ru/journal/1758/article/30103/>

9. Толибов Б.И., Н.А.Донияров, А.Э.Бахронов, З.Ф.Кулмуродов. Процесс кучного выщелачивания мелкозернистых золотосодержащих руд // VI Международная научно-техническая конференция. Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития. Навои, 2013. – С119-120
10. Хурсанов А.Х., Хасанов А.С., Вохидов Б.Р. // Разработка технологии получения аффинированного палладиевого порошка из отработанных электролитов // Горный вестник Узбекистана 2019г. №1 (76) 58-61.
11. Толибов Б.И., Н.А.Донияров, У.Д.Собиров, А.Э.Бахронов. Факторы, влияющие на эффективность цианирования в процессе кучного выщелачивания // Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные аспекты химической науки, товарной экспертизы и образования». Чебоксар, 2013. –С69-71
12. Hasanov A.S., Arifov A.A., Voxidov B.R. // “Исследование возможности извлечения оксида ванадия из техногенных отходов”. // EurasiaScience Сборник статей XII международной научно-практической конференции, часть I Научно-издательский центр «Актуальность РФ» 15 декабря 2017 с. 93-95.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХПОЯСНЫХ РЕШЕТЧАТЫХ СТРУКТУР

Суванкулов Илхомжон Шахобиддинович

канд. тех. наук, Самаркандский государственный университет,
Республика Узбекистан, г. Самарканд
E-mail: suvonqulov_i@rambler.ru

Узоков Шерзод Хамидович

доцент, Самаркандский государственный архитектурно строительный институт,
Республика Узбекистан, г. Самарканд
E-mail: abdali7@gmail.com

Элмонов Сирожиддин Мамадиярович

PhD, Самаркандский государственный университет, Республика Узбекистан, г. Самарканд
E-mail: elmonovsirojiddin@gmail.com

Абдумоннонов Махсуд

старший преподаватель, Самаркандский государственный архитектурно - строительный институт,
Республика Узбекистан, г. Самарканд
E-mail: maqsud_a@mail.uz

SIMULATION OF TWO-BAND LATTICE STRUCTURES

Ilkhomjon Suvankulov

Cand. those. Sciences, Samarkand State University,
Republic of Uzbekistan, Samarkand

Sherzod Uzokov

Associate Professor, Samarkand State Architectural and Civil Engineering Institute,
Republic of Uzbekistan, Samarkand

Sirozhiddin Elmonov

PhD, Samarkand State University,
Republic of Uzbekistan, Samarkand

Abdumomnonov Makhsud

Art. lecturer, Samarkand State Institute of Architecture and Civil Engineering,
Republic of Uzbekistan, Samarkand

АННОТАЦИЯ

Рассматривается вопрос статико-геометрического моделирования дискретного каркаса двухпоясных решетчатых структур. Приведена статическая модель равновесия системы.

ABSTRACT

The question of static-geometric modeling of a discrete framework of two-belt lattice structures is considered. A static system equilibrium model is presented.

Ключевые слова: моделирование, двухпоясная, структура, система, конструкция.

Keywords: modeling, two-belt, structure, system, design.

Для конструирования решетчатых структур целесообразно применять способы дискретного моделирования, в частности, статико-геометрический.

Статико-геометрический подход к формированию точечных каркасов базируется на составлении конечно-разностных уравнений равновесия, описывающих напряженное состояние системы. Внутренние напряжения в стержнях и внешняя нагрузка на систему геометрически представляются как совокупность векторных усилий.

Статико-геометрический подход к моделированию дискретных структур может быть реализован с помощью различных физических моделей / 1 /. Одной из них является модель растянутой (сжатой) сети.

Условие равновесия узла произвольной сети имеет вид:

$$Q_i + \sum_{p=1}^n R_p = 0, \quad (1)$$

где Q_i - внешняя нагрузка на узел;

$R_1, R_2, \dots, R_p, \dots, R_n$ - напряжения в связях, сходящихся в данном узле.

В простых двухъярусных решетчатых структурах имеет место совместная работа двух сетчатых структур (поясов) посредством их объединения в одно целое при помощи между поясных связей. Поэтому в данном случае равновесие пары узлов будет описываться системой уравнений вида (рис. 1):

$$\begin{cases} Q_{i,j}^b + \sum_{t=1}^n R_{t,i,j}^{b,i \pm 1, j \pm 1} + P_{n,i,j}^{b,i,j} = 0, \\ Q_{i,j}^n + \sum_{t=1}^n R_{t,i,j}^{n,i \pm 1, j \pm 1} + P_{b,i,j}^{n,i,j} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

$R_{t,i,j}^{b,i \pm 1, j \pm 1}$ и $R_{t,i,j}^{n,i \pm 1, j \pm 1}$ - усилия в связях соответственно верхнего и нижнего поясов структуры; P - усилия в между поясных связях; t - число связей одного пояса, сходящихся в узле.

В качестве внешней нагрузки, действующей на пару соответственных узлов верхнего и нижнего поясов структуры, выступает целый комплекс независимых силовых факторов:

$$Q_{i,j} = Q_{i,j}^{\Pi} + Q_{i,j}^p + Q_{i,j}^{P.ст.} + Q_{i,j}^{И.об.} + Q_{i,j}^{Сн.} + Q_{i,j}^{Вт.} + Q_{i,j}^{Уз.эл.} \quad (3)$$

где $Q_{i,j}^{\Pi}$ - вес покрытия верхнего и нижнего пояса;

$Q_{i,j}^p$ - вес распорных стоек (подвесок); p ст

$Q_{i,j}^{P.ст.}$ - вес ребер структуры;

$Q_{i,j}^{И.об.}$ - вес инженерного оборудования;

$Q_{i,j}^{Сн.}$ - снеговая нагрузка;

$Q_{i,j}^{Вт.}$ - ветровая нагрузка;

$Q_{i,j}^{Уз.эл.}$ - вес узлового элемента.

Определение величин, входящих в (3) проводится из следующих соотношений

$$Q_{i,j}^{\Pi} = \frac{1}{N} (S^n \delta^n \gamma^n), \quad (4)$$

где S^n - площадь покрытия;

δ^n - толщина покрытия;

γ^n - удельный вес покрытия;

N - количество узлов структуры.

Вес распорных стоек (подвесок) определяется по следующей формуле:

$$Q_{i,j}^p = S_{i,j}^p \gamma_{i,j}^p l_{n,i,j}^p, \quad (5)$$

где $S_{i,j}^p$ - поперечное сечение стойки (подвески);

$\gamma_{i,j}^p$ - удельный вес стойки (подвески);

$$l_{n,i,j}^{B,I,J} = \sqrt{(x_{i,j}^B - x_{i,j}^H)^2 + (y_{i,j}^B - y_{i,j}^H)^2 + (z_{i,j}^B - z_{i,j}^H)^2}, \quad (6)$$

Формула для определения веса ребер структуры имеет вид:

$$Q_{i,j}^{P.ct.} = \frac{S_{i,j}^{P.ct.} \gamma^{P.ct.}}{2} \left(\sum_{t=1}^n l_{i,j}^{B,t} + \sum_{t=1}^n l_{i,j}^{H,t} \right) = 0 \quad (7)$$

где $S_{i,j}^{P.ct.}$ - поперечное сечение ребер;

$\gamma^{P.ct.}$ - удельный вес ребер;

n и m - количество ребер, сходящихся в соответствующих узлах верхнего и нижнего пояса.

Ветровые и снеговые нагрузки на узлах определяются в соответствии с действующими правилами.

Усилие, возникающее в связи, соединяющей соответствующие узлы верхнего и нижнего пояса, равны по модулю, но противоположно направлены.

Рисунок 1. Двухъярусная решетчатая структура с четырехугольными ячейками

Статическая модель равновесия, описываемая (2) для каждого из случаев, показанных на рисунке 1. система векторных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} Q_{i,j}^b + R_{i,j}^{b,i,j+1} + R_{i,j}^{b,i,j-1} + R_{i,j}^{b,i+1,j} + R_{i,j}^{b,i-1,j} + P_{i,j}^b = 0 \\ Q_{i,j}^H + R_{i,j}^{H,i,j+1} + R_{i,j}^{H,i,j-1} + R_{i,j}^{H,i+1,j} + R_{i,j}^{H,i-1,j} + P_{i,j}^H = 0 \end{cases} \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} R_{i,j}^{b,i+1,j} &= f(x_{i,j}^b, y_{i,j}^b, z_{i,j}^b, x_{i+1,j}^b, y_{i+1,j}^b, z_{i+1,j}^b); \\ R_{i,j}^{b,i,j+1} &= f(x_{i,j}^b, y_{i,j}^b, z_{i,j}^b, x_{i,j+1}^b, y_{i,j+1}^b, z_{i,j+1}^b); \\ R_{i,j}^{b,i-1,j} &= f(x_{i,j}^b, y_{i,j}^b, z_{i,j}^b, x_{i-1,j}^b, y_{i-1,j}^b, z_{i-1,j}^b); \\ R_{i,j}^{b,i,j-1} &= f(x_{i,j}^b, y_{i,j}^b, z_{i,j}^b, x_{i,j-1}^b, y_{i,j-1}^b, z_{i,j-1}^b); \\ R_{i,j}^{H,i+1,j} &= f(x_{i,j}^H, y_{i,j}^H, z_{i,j}^H, x_{i+1,j}^H, y_{i+1,j}^H, z_{i+1,j}^H); \\ R_{i,j}^{H,i,j+1} &= f(x_{i,j}^H, y_{i,j}^H, z_{i,j}^H, x_{i,j+1}^H, y_{i,j+1}^H, z_{i,j+1}^H); \\ R_{i,j}^{H,i-1,j} &= f(x_{i,j}^H, y_{i,j}^H, z_{i,j}^H, x_{i-1,j}^H, y_{i-1,j}^H, z_{i-1,j}^H); \\ R_{i,j}^{H,i,j-1} &= f(x_{i,j}^H, y_{i,j}^H, z_{i,j}^H, x_{i,j-1}^H, y_{i,j-1}^H, z_{i,j-1}^H); \\ P_{i,j}^b &= F(x_{i,j}^b, y_{i,j}^b, z_{i,j}^b); \\ P_{i,j}^H &= F(x_{i,j}^H, y_{i,j}^H, z_{i,j}^H); \\ Q_{i,j} &= \varphi(x_{i,j}^b, y_{i,j}^b, z_{i,j}^b, x_{i,j}^H, y_{i,j}^H, z_{i,j}^H) \end{aligned} \quad (9)$$

Список литературы:

1. Ковалев С.Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций: Дисс....докт. техн. наук. – М. : МАИ, 1986. - 348 с.
2. Ковалев С.Н. Формирование растянутой сети под действием нормальной нагрузки // Прикл. Геометрия и инж. Графика. – Киев: Будівельник, 1988. – Вып. 45. – с. 17-19.
3. Михайленко В.Е., Ковалев С.Н., Сазонов К.А. Форма образование большепролетных покрытий в архитектуре. - Киев: Высшая школа, 1987. 189 с.
4. Михайленко В.Е., Ковалев С.Н., Тукаев С.К. Особенности конструирования стержне-вантовых покрытий // Прикладная геометрия и инж. графика. – Киев:, 1979. – Высшая школа. 28. - С . 3 – 6.
5. Суванкулов И.Ш. Об одном способе формирования двухпоясного мембранного покрытия и управления ее формой // Прикл. геометрия и инж. графика. – Киев: Будівельник, 1988. – Вып. 46. – с. 96-98.

ТРАНСПОРТ

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА И НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЕГО РЕШЕНИЯ

Абляимов Олег Сергеевич

*канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com*

EQUATION OF TRAIN MOVEMENT AND SOME METHODS OF ITS SOLUTION

Oleg Ablyalimov

*Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Приводится уравнение движения поезда и анализ существующих численных методов его решения, свидетельствующий о необходимости разработки новых численных методов решения для практической реализации на ЭВМ и в работе специалистов локомотивного комплекса железных дорог.

ABSTRACT

An equation of train motion and an analysis of existing numerical methods for its solution are given, indicating the need to develop new numerical solution methods for practical implementation on a computer and in the work of specialists of the locomotive complex of railways.

Ключевые слова: уравнение, метод, решение, поезд, движение, режим, сопротивление, задача, переменная, шаг, производная, полином, ряд.

Keywords: equation, method, solution, train, motion, mode, resistance, task, variable, step, derivative, polynomial, series.

Перемещение поезда на участке описывается известным [1,4] уравнением движения поезда $\frac{dv}{dt} = \xi u$, $\frac{км}{ч^2}$, которое связывает ускорение поезда $\frac{dv}{dt}$ с равнодействующей силой u , $\frac{Н}{кН}$ ($\frac{кгс}{т}$). Разделив обе части на V получим

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\xi u}{V} = \frac{\xi \varphi(V)}{V} = f(V) \quad (1)$$

где $u = \varphi(V)$ – удельная равнодействующая сила поезда, $\frac{Н}{кН}$ ($\frac{кгс}{т}$).

На основании уравнения (1) решаются все задачи, связанные с расчётами перевозочной работы локомотивов на участках, в связи с чем, точностью решения этого уравнения во многом определяется достоверность значений показателей эксплуатационной, энергетической и экономической эффективности использования работы локомотивов.

При известном подъёме (уклоне) i_k , ‰ величина удельной равнодействующей силы при рабочем ходе

$$u = f_k(V) - w_0(V) + i_k \quad (2)$$

при холостом ходе

$$u = -w_0(V) + i_k \quad (3)$$

и при торможении

$$u = -[w_0(V) + i_k + b_t(V)] \quad (4)$$

где $f_k(V) = \frac{F_k(V)}{P_0 + Q}$, $\frac{Н}{кН}$ ($\frac{кгс}{т}$) – зависимость удельной касательной силы тяги локомотива от скорости для той или иной позиции контроллера машиниста, при заданном весе поезда $P_0 + Q$, т. Зависимости полной величины касательной силы тяги $F_k(V)$ приводятся в ПТР [6].

$w_0(V)$ – зависимость удельного основного сопротивления движению поезда от скорости. Находится с учётом основного сопротивления локомотива $w_0(V)$ и состава $w'_0(V)$, которые берут на основании ПТР [6].

Таким образом

$$w_0(V) = \frac{P_0 * w'_0(V) + Q * w'_0(V)}{P_0 + Q}, \frac{\text{Н}}{\text{кН}} \left(\frac{\text{кгс}}{\text{т}} \right) \quad (4')$$

$b_T(V)$ – зависимость удельной тормозной силы от скорости для существующих тормозных устройств.

Зависимости $F_k(V)$, $w'_0(V)$, $w''_0(V)$, и $b_T(V)$ для расчётов на ЭВМ обычно приводятся в полиномиальном виде, аппроксимирующие коэффициенты которых определяются расчётами на ЭВМ по соответствующим программам [3].

Зависимость $u = \varphi(V)$ с определённой степенью точности может быть выражена, например, для рабочего хода грузового поезда

$$U_p = \sum_{k=0}^5 a_k V^k = a_0^p + a_1^p V + a_2^p V^2 + a_3^p V^3 + a_4^p V^4 + a_5^p V^5 \quad (5)$$

где $a_0^p, \dots, a_5^p$ – коэффициент аппроксимирующего полинома зависимости $u = \varphi(V)$.

Для холостого хода зависимость $u = \varphi(V)$

$$u_x = -(a_0^x + a_1^x V + a_2^x V^2) \quad (6)$$

при торможении

$$u_T = -(a_T \frac{V+A}{BV+B} + a_0^x + a_1^x V + a_2^x V^2) \quad (7)$$

где a_0^x, a_1^x, a_2^x , А, Б и В – соответствующие постоянные коэффициенты.

Используя зависимости (2), (3) и (4) при интегрировании выражения (1) по переменной "путь" в определённых пределах получим

$$\int_{V_1}^{V_2} dV = \xi \int_{s_1}^{s_2} \frac{\varphi(V)}{V} ds \quad (8)$$

При интегрировании по переменной "скорости"

$$\int_{s_1}^{s_2} ds = \frac{1}{\xi} \int_{V_1}^{V_2} \frac{V dV}{\varphi(V)} \quad (9)$$

Возможно также интегрирование (1) по переменной "время". Точное решение (1) невозможно в виду сложности зависимости $u = \varphi(V)$. На ЭЦВМ (электронно – цифровая вычислительная машина) широко используется численный метод Эйлера [2,5], реже Рунге – Кутта. В программе ЦНИИ МПС [3] применено разложение функции $V = f(S)$ в ряд Тейлора с использованием первых трёх членов. Известны разные модификации указанных методов и ряд дополнительных [2, 5]. При ручном счёте чаще всего пользуются графическим методом МПС [1,2], но расчёты требуют большой затраты времени.

Приближённое решение заключается в определении на каждом шаге интегрирования конечного значения скорости $V_{n+1} = V_n + \Delta V_n$.

При использовании численных методов практически высокую точность решения можно достичь,

если проводить расчёты с использованием минимально возможного шага интегрирования, но при этом резко возрастает затрата машинного времени, а следовательно и стоимость расчётов.

По методу Эйлера приращение скорости на выбранном шаге h_n будет

$$\Delta V_n = f(V_n) h_n = \frac{\xi \varphi(V_n)}{V_n} h_n \quad (10)$$

где $f(V_n)$ – первая производная скорости по пути для известных начальных условий, 1/ч.

Правильность определения скорости на шаге интегрирования оказывает влияние и на точность определения всех последующих величин. Так, применение метода Эйлера при ограничении приращения скорости $a_n \leq 5 - 10$ км/ч даёт отклонения от практически точных значений, полученных при $a_n = 0,5 - 1,0$ км/ч, времени хода поезда по перегонам до 8 – 10 процентов, расходов энергии до 3 – 4 процентов и денежных и перевозочных затрат до 1 - 3 процентов.

Указанные отклонения возрастают при движении поезда с остановками на промежуточных раздельных пунктах и участковых станциях. Погрешность метода Эйлера на шаге имеет порядок h^2 .

По методу Рунге – Кутта [2,5] величина приращения скорости на шаге интегрирования может определяться выражением

$$\Delta V_n = \frac{1}{6} (K_1^0 + 2K_2^0 + 2K_3^0 + K_4^0) \quad (11)$$

где $K_1^0 = f(V_n) h_n$ – приращение скорости на шаге по первой производной для начальных условий, км/ч;

$K_2^0 = f(V_n + \frac{K_1^0}{2}) h_n$ – приращение скорости по первой производной для промежуточной скорости, км/ч;

$K_3^0 = f(V_n + \frac{K_2^0}{2}) h_n$ – тоже, для второй промежуточной скорости, км/ч;

$K_4^0 = f(V_n + K_3^0) h_n$ – тоже, для третьей промежуточной скорости, км/ч.

Метод Рунге – Кутта в большинстве случаев даёт хорошие результаты, однако в области выхода на равномерную скорость, процесс счёта нарушается и необходимы повторные пересчёты на уменьшенном шаге. Метод требует значительной затраты машинного времени. Метод имеет погрешность порядка $h^3 - h^5$.

При разложении функции $V = f(S)$ в ряд Тейлора с использованием первых трёх членов получим

$$\Delta V_n = V_n' h_n + V_n'' \frac{h_n^2}{2} \quad (12)$$

где $V_n' = \frac{\xi \varphi(V_n)}{V_n}$ – первая производная скорости по пути для начальных условий, 1/ч;

$V_n'' = \xi^2 \frac{\varphi'(V_n) V_n + \varphi(V_n)}{V_n^3} \varphi(V_n)$ – вторая производная скорости по пути для начальных условий, 1/км·ч;

$\varphi'(V_n)_V$ – первая производная равнодействующей силы по скорости для начальных условий, кг·ч/ткм.

Уточнение изменения интервала скорости ΔV_n по второй производной составляет не более 0,5 км/ч при $a_n \leq 5$ км/ч. В результате ошибки на шаге интегрирования по сравнению с методом Эйлера будут уменьшаться лишь на 10 – 15 процентов. Этот метод требует нахождения производной $\varphi'(V_n)_V$, что связано с увеличением затраты машинного времени.

На втором этапе исследований кратко рассмотрим некоторые другие численные методы решения дифференциальных уравнений, которые в виду их сложности, решить аналитическими методами невозможно.

Имеется обыкновенное дифференциальное уравнение $y' = f(x, y)$ при известных начальных условиях x_n и y_n необходимо найти значения x_{n+1} и y_{n+1} , на каждом шаге интегрирования.

Кроме вышеуказанных, наиболее известны следующие численные методы решения дифференциальных уравнений:

а) метод последовательных приближений (метод итераций или метод Пикара [2]. Это один из дающих высокую точность методов, но он является весьма трудоёмким и не во всех случаях применимым;

б) метод А. Н. Крылова [2,5] является дальнейшим развитием метода последовательных приближений. Почти все приближённые методы включают два этапа: нахождение начального отрезка искомого решения, то есть начало решения или вход в таблицу; вычисление дальнейших значений на основе найденных величин, то есть продолжение таблицы.

А. Н. Крылов предложил построение начального отрезка методом последовательных сближений.

в) метод Дж. Адамса [7], который в некотором отношении сходен с методом последовательных приближений, но отличается тем, что решение начинается с вычисления первых четырех значений функции, так называемой начальный участок, которые определяется по начальным условиям (x_n, y_n) , используя какой-нибудь численный метод (Рунге - Кутта, посредством разложения в ряд Тейлора и т.д.). Метод также трудоёмкий и применяется не для всех случаев решения дифференциальных уравнений [2];

г) метод Милна [7] используется для первых четырех точек значения y и y' , найденные каким-либо методом, наиболее подходящим для данного вида уравнения (метод Адамса, Рунге-Кутта и т.д.). Затем, используя специальные формулы Милна, найденные

путём интегрирования формулы Ньютона, определяют искомые значения y с определённой точностью (погрешность метода порядка h^4). Программирование метода довольно сложно и расчёты весьма трудоёмки.

д) модифицированные варианты метода Эйлера (усовершенствованный метод ломанных, усовершенствованный метод Эйлера - Коши [2,5,7].

При использовании усовершенствованного метода ломанных, вначале вычисляют промежуточные значения $x_{n+\frac{1}{2}} = x_n + \frac{h}{2}$ и $y_{n+\frac{1}{2}} = y_n + \frac{h}{2} y'_n$, затем находят значения направлений поля интегральных кривых в средней точке $(x_{n+\frac{1}{2}}, y_{n+\frac{1}{2}})$, то есть

$$y'_{n+\frac{1}{2}} = f(x_{n+\frac{1}{2}}, y_{n+\frac{1}{2}})$$

и полагают

$$y_{n+1} = y_n + h \cdot y'_{n+\frac{1}{2}}$$

В результате получают соответствующие уточненные решения, но это требует дополнительной затраты времени.

В усовершенствованном методе Эйлера - Коши после определения $\bar{y}_{n+1} = y_n + y' h$ находят новое направление поля интегральных кривых $\bar{y}_{n+1} = f(x_{n+1}, \bar{y}_{n+1})$, затем приближение полагают

$$y_{n+1} = y_n + h \frac{y'_n + \bar{y}'_{n+1}}{2}.$$

Ещё более точные результаты могут быть получены, применяя итерационную обработку [2,5,7], однако это усложняет процесс решения.

В большинстве существующих программ тяговых расчётов использовался метод Эйлера [3 и другие], что приводит к ряду недостатков, ухудшающих результаты счёта [8,9] и удорожая их.

Таким образом, рассмотренные (приведённые) автором недостатки решения дифференциального уравнения движения поезда существующими методами заставляют продолжать исследования по дальнейшему совершенствованию, имеющихся численных методов решения, с целью разработки удобных методов для использования при расчётах на ЭВМ и в практике работы специалистов локомотивного комплекса железных дорог.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. Основы управления локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков // Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Ташкент: «Davt», 2012. – 392 с.
2. Березин И. С. Методы вычислений [Текст] / И. С. Березин, Н. П. Жидков. - Изд. 2-е. – М.: ГИФМЛ, 1962. – Т. 1. – 464 с.
3. Быков В. Н. Производство тяговых расчётов и определение эксплуатационных расходов по передвижению поездов [Текст] / В. Н. Быков К. М. Берестовенко // Тр. ВНИИТС, вып. 51 / Всероссийский науч – иссл. ин-т твёрдых сплавов. – Москва, 1964. – С. 59 – 67.
4. Деев В. В. Тяга поездов [Текст] / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин // Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.

5. Демидович Б. П. Численные методы анализа [Текст] / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова // Учебное пособие. - 3-е изд., перераб. - М.: Наука, 1967. - 368 с.
6. Правила тяговых расчётов для поездной работы [Текст] / Всесоюзный научно – исследовательский институт железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
7. Скарборо Д. Численные методы математического анализа (перевод с англ.) [Текст] / Д. Скарборо. – М.: ГИФМЛ, 1934. – 437 с.
8. Толкачёв А. В. О методах решения уравнения движения поезда при расчётах на ЭЦВМ [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашИИТ, вып. 88 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Ташкент, 1972. – С. 79 – 87.
9. Толкачёв А. В. О численном методе решения уравнения движения поезда [Текст] / А. В. Толкачёв // «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1972, № 7. – С. 53 – 59.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Абляимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник,
и.о. профессора кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»
Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

ECONOMIC INDICATORS OF EFFICIENCY OF LOCOMOTIVES IN OPERATING CONDITIONS

Oleg Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Приведены экономические показатели перевозочной работы локомотивов в эксплуатации, которые можно использовать для анализа и оценки эффективности локомотивов на различных участках железных дорог.

ABSTRACT

The economic indicators of the transportation work of locomotives in operation are given, which can be used to analyze and evaluate the efficiency of locomotives on various sections of the railways.

Ключевые слова: экономические показатели; себестоимость; показатель; производительность; локомотив; перевозочная работа; коэффициент.

Keywords: economic indicators; cost; indicator; performance; locomotive; transportation work; coefficient.

Экономические показатели в виде денежной единицы являются обобщающими параметрами для анализа и оценки производительности локомотивов в условиях эксплуатационной деятельности железных дорог.

Расчёты себестоимости условных т км брутто отражают фактические расходы энергии и выполненную механическую работу, что позволяет более конкретно и целеустремленно изыскивать пути снижения себестоимости железнодорожных перевозок и повышения эффективности использования локомотивов в процессе организации перевозочной работы.

Показатель денежной производительности является критерием использования локомотивов, подсчёты которого связаны с определением затрат денежных средств за поездку, или за любой период эксплуатации (обычно принимают для расчётов годовые приведённые расходы).

Расходы по передвижению поезда на участке Θ_x можно разделить на изменяющиеся пропорционально времени (временная) Θ_{xb} и пропорционально расходу энергии (энергетическая) Θ_{xk} . Кроме этих слагаемых имеется и третья слагаемая расходов, связанная с объёмом перевозочной поездной работы и затратами по техническому осмотру вагонов, а также по амортизации балласта, шпал, охране пути и сооружениям и прочие, которую обозначим Θ_{xn} .

Таким образом, затраты на поездочасток будут

$$\Theta_x = \Theta_{xk} + \Theta_{xb} + \Theta_{xn} \quad (1)$$

В свою очередь все слагаемые Θ_x равенства (1) выразим так

$$\Theta_{xk} = l_{тэк} \cdot E + j \cdot A_k + M_{ав} \cdot A_c \quad (2)$$

$$\Theta_{xb} = a_3 \cdot j \cdot g_x \cdot t + l_q \cdot t \quad (3)$$

$$\Theta_{xn} = [l_{ns} \cdot m + l_{тк} \cdot (P_0 + Q)] \cdot S \quad (4)$$

где $l_{тэк}$ - стоимость энергии, включая и расходы по экипировке, руб./т или руб./кВт-ч;

j , $M_{ав}$ - расходные ставки на ремонт силовых агрегатов локомотива пропорциональные механической работе его A_k и на ремонт ходовых частей подвижного состава и верхнего строения пути, пропорциональные механической работе вредных сил сопротивления A_c , руб./кгс км;

t - время хода (движения) поезда на участке, ч;

g_x - расход энергии на служебные нужды т/ч или кВт-ч/ч;

a_3 - коэффициент пересчёта расходуемой энергии в эквивалентную касательную работу;

$l_q = l_{mh} + l_{nh} + l_{пн} \cdot m + l_x$ - общая расходная ставка стоимости поездочаса, руб./ч;

l_{mn} - расходная ставка по содержанию локомотива, руб./ч;

l_{mh} - расходная ставка локомотивных бригад, руб./бригадо-ч;

l_{Nh} - расходная ставка поездных бригад, руб./бригадо-ч;

l_{mn} - расходная ставка на вагоно – осе-час, руб./ваг.осе-ч;

m – число (количество) осей в составе, осей;

l_x - стоимость расходуемой за час энергии на служебные нужды, руб./т или руб./кВт-ч;

l_{ns} - расходная ставка по содержанию вагонов, руб./ваг.осе-км;

$l_{тк}$ - расходная ставка на 1 ткм брутто, руб./ткм брутто

S - расстояние, проходимое поездом, км.

Для случаев движения поезда на участке, когда $V_n = V_k = 0$ величина A_c механической работы вредных сил сопротивления составит

$$A_c = A_k - (P_0 + Q) \cdot N_0 \quad (2.24)$$

где N_0 - превышение конечной станции над начальной станцией, м.

Из (5) видно, что A_c на конкретном участке будет отличаться от A_k на постоянную величину, следовательно, расходы пропорциональные A_c будут также пропорциональными величине A_k .

Значения $\mathcal{E}_{хк}$, $\mathcal{E}_{хв}$ и $\mathcal{E}_{хн}$ могут быть подсчитаны с использованием данных о расходных ставках [2] и опыта работы на дорогах.

Для всестороннего анализа использования локомотивов следует пользоваться величиной годовых приведенных народно - хозяйственных затрат $\mathcal{E}_г$, общая методика определения которых приводится в [2,3].

Величину $\mathcal{E}_г$ можно выразить так

$$\mathcal{E}_г = (\mathcal{E}_x + \mathcal{E}_B^c + \mathcal{E}_{ЭН}^c) \cdot 365 \cdot n_c + \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_6 + \mathcal{E}_7 \quad (2.26)$$

где $\mathcal{E}_B^c$, $\mathcal{E}_{ЭН}^c$ - расходы за время стоянок на промежуточных станциях, пропорциональные времени расходу энергии за период стоянок, руб./поезду-часок;

n_c - количество поездов в сутки для рассматриваемого вида работы на направлении, поездов/сутки;

$\mathcal{E}_1$ - доля ежегодных отчислений по капитальным затратам на подвижной состав при соответствующем сроке окупаемости, руб./год;

$\mathcal{E}_2$, $\mathcal{E}_3$ - доля ежегодных отчислений на реновацию локомотивов и вагонов, руб./год;

$\mathcal{E}_4$ - приведенные расходы, связанные со стоимостью груза на колёсах, скорости его доставки и нормативным сроком окупаемости руб./год;

$\mathcal{E}_5$ –расходы, связанные с накоплением вагонов на станции формирования поездов, руб./год;

$\mathcal{E}_6$ – расходы, связанные с резервным пробегом локомотивов в рассматриваемом направлении, руб./год;

$\mathcal{E}_7$ - расходы, связанные с содержанием станционного хозяйства, принимаемыми пропорциональными количеству вагонов на станции, руб./год.

Необходимые рекомендации по перечисленным слагаемым даны в [2,3].

Величину $\mathcal{E}_г$ можно также представить следующей суммой

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E}_{гк} + \mathcal{E}_{гв} + \mathcal{E}_{гн} \quad (7)$$

где $\mathcal{E}_{гк} = 365 \cdot n_c \cdot \mathcal{E}_{хк}$ - часть годовых приведённых народно - хозяйственных затрат, пропорциональных расходу энергии и механической работе, руб./год;

$\mathcal{E}_{гв} = (\mathcal{E}_{хв} + \mathcal{E}_B^c + \mathcal{E}_{ЭН}^c) \cdot 365 \cdot n_c + \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4$ - часть годовых приведённых народно - хозяйственных затрат, пропорциональных времени нахождения поезда на участке и обороту локомотива, руб./год;

$\mathcal{E}_{гн} = 365 \cdot n_c \cdot \mathcal{E}_{хн} + \mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_6 + \mathcal{E}_7$ – часть, независимая от расхода энергии и времени, руб./год.

Приведённая денежная производительность локомотивов при выполнении заданного объёма перевозок будет

$$\gamma_n = \frac{0,434 \cdot \sum A''_г}{\mathcal{E}_г + \mathcal{E}_к}, \frac{\text{услов.ткм брутто}}{\text{рубль}} \quad (8)$$

где $\sum A''_г$ - общая величина механической работы, использованной на перемещение составов в год, кгскм;

$\mathcal{E}_к$ - годовая приведённая доля капитальных вложений на участке (исключая подвижной состав) для улучшения условий работы или расширения объёма железнодорожных перевозок, руб./год.

С целью выявления влияния зависимости составляющих от условий перевозочной работы локомотивов были проведены расчёты на ЭВМ по специальной программе, в которых определялись также и величина годовых расходов по передвижению поездов на участке согласно формулы

$$\mathcal{E}_x^г = 365 \cdot n_c \cdot \mathcal{E}_x, \text{ руб./год} \quad (9)$$

В табл. 1 приведено распределение составляющих для некоторых участков Среднеазиатской (сейчас Узбекской и Туркменской) железной дороги.

Как видно, расходы по передвижению поездов составляют: для гружёных поездов 73 - 77 процента, а для порожних снижаются до 60-ти процентов, для пассажирских поездов эта доля составляет 74 - 75 процента.

Таблица 1.

Составляющие годовых приведённых народно – хозяйственных затрат $\mathcal{E}_T$ на некоторых участках Среднеазиатской железной дороги

Участок	Серия тепло-воза	Вес состава, т	Ограничение скорости, остановки, новки	Доля составляющих $\mathcal{E}_T$ в процентах, %								
				$\mathcal{E}_X^T$	$\mathcal{E}_C^{T*}$	$\mathcal{E}_1$	$\mathcal{E}_2$	$\mathcal{E}_3$	$\mathcal{E}_4$	$\mathcal{E}_5$	$\mathcal{E}_6$	$\mathcal{E}_7$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ашхабад-Красноводск	ТЭЗ	3200	Приказ Н, 10 остановок	77,0	7,50	8,06	1,43	0,89	3,40	0,92	0,0	0,38
	2ТЭ10	3400		73,0	6,90	11,80	2,70	0,65	2,70	0,81	0,0	0,27
Хаваст-Каган	ТЭЗ	3200	Приказ Н, 11 остановок	75,5	8,64	8,60	1,40	0,80	3,50	1,45	0,0	0,33
	2ТЭ10	3700		76,5	8,39	8,20	1,25	0,85	2,96	1,50	0,0	0,35
	2ТЭ10	1500		60,0	21,9	10,50	1,62	1,10	3,00	1,37	0,0	0,45
Каган-Хаваст	ТЭП10	1000 ЦМВ	Приказ Н, 3 остановки	74,4	11,50	11,70	0,0	1,55	0,0	0,0	0,0	0,85

*Примечание: * - $\mathcal{E}_C^T = 365 \cdot n_c \cdot (\mathcal{E}_B^C + \mathcal{E}_{ЭН}^C)$ – расход за время стоянок; Н – начальник дороги; ЦМВ – цельнометаллический вагон*

Таким образом, основную часть приведённых годовых народно – хозяйственных перевозочных расходов составляют затраты по передвижению поездов, в связи с чем, изучение факторов, влияющих на эти расходы являются особенно важными. Отметим, что величина $\mathcal{E}_X^T$ при изменении условий эксплуатации изменяется примерно в таких же пропорциях, что и величина $\mathcal{E}_T$.

Имея значения механической работы, сил действующих на поезд и величины соответствующих затрат, которые связаны с процессом перевозочной работы локомотивов, можно определять показатели использования локомотивов. Такими показателями являются показатели производительности локомотивов (μ_X'' , η_X'' , γ_X и γ_n) [1] и экономические показатели эффективности перевозочной работы локомотивов, характеризующие результаты работы локомотивов по выполнению заданного грузопотока.

При известном соотношении веса нетто Q_n груза, к весу брутто Q состава, то есть $\delta = \frac{Q_n}{Q}$ оценку эффективности перевозочной работы локомотивов предлагается делать на основе показателей ходовой эффективности ε_X перевозочной работы локомотивов, учитывающей расходы по передвижению поезда на участке, а также показателей приведённой эффективности ε_n , учитывающей годовые приведённые народно – хозяйственные затраты, то есть:

$$\varepsilon_X = \frac{10^3}{\gamma_X \cdot \delta} \cdot \frac{\text{коп}}{10 \text{ усл.ткм нетто}} \quad (10)$$

$$\varepsilon_n = \frac{10^3}{\gamma_n \cdot \delta} \cdot \frac{\text{коп}}{10 \text{ усл.ткм нетто}} \quad (11)$$

Вместо указанных выражений можно также использовать $\varepsilon_X = \frac{10^3 \cdot \mathcal{E}_X}{0,434 \cdot A^K \cdot \delta}$ и

$\varepsilon_X = \frac{10^3 \cdot (\mathcal{E}_T + \mathcal{E}_K)}{2,3 \cdot \Gamma \cdot L \cdot \alpha_n}$, где α_n – коэффициент пересчёта эксплуатационных т км нетто в условные [4] тонно – километры.

Показатели ε_X и ε_n будут отражать влияние всех факторов условий эксплуатационной работы на участках, что позволит получать сравнимые данные об эффективности использования локомотивов для любых случаев.

Таким образом, рассмотренные (предложенные) автором экономические показатели эффективности перевозочной работы локомотивов совместно с силовыми и энергетическими показателями [1,5] рекомендуются для практического применения в локомотивном хозяйстве железных дорог, так как являются наиболее полными критериями оценки совершенства использования локомотивов дизельной и электрической тяги в эксплуатации при реализации железнодорожных перевозок грузов и пассажиров.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. Показатели эффективности использования локомотивов в условиях эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10681> (дата обращения: 30.08.2020).
2. Луговой П. А. Техничко – экономические расчёты при реконструкции железных дорог [Текст] / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин // Научно – практическое издание. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – 250 с.

3. Тихонов К. К. Техничко - экономические расчёты в эксплуатации железных дорог [Текст] / К. К. Тихонов // Монография. – М.: Изд-во МПС, 1962. – 252 с.
4. Толкачёв А. В. Показатели сравнительной производительности локомотивов [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашиИИТ, вып. 14 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 1960. – С. 63 – 71.
5. Толкачёв А. В. Относительные показатели использования локомотивов [Текст] / А. В. Толкачёв // «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1963, № 3. – С. 73 – 79.

ОБ ЭНЕРГЕТИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Аблялимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, ст. науч. сотр., и.о. профессора кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство», Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

ABOUT THE ENERGY OF ELECTRIC RAILWAYS

Oleg S. Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»,
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Обоснованы система тягового электрического снабжения переменного тока и энергетика движения поезда. Обозначены мероприятия рационального использования электрической энергии в реальных условиях эксплуатации тягового электроподвижного состава при пуске, разгоне и торможении поезда.

ABSTRACT

The system of traction electrical supply of alternating current and the energy of train movement are substantiated. The measures for the rational use of electric energy in real operating conditions of electric traction rolling stock during the start, acceleration and deceleration of the train are indicated.

Ключевые слова: исследование, результат, железная дорога, электровоз, эксплуатация, переменный ток, электроснабжение, электрическая энергия.

Keywords: investigation, result, railway, the electric locomotive, exploitation, alternating current, power supply, electric energy.

В процессе электрификации железных дорог осуществляется комплексное электроснабжение не только всего железнодорожного хозяйства, но, наряду с этим, промышленности и прилегающих к железной дороге нетяговых потребителей. Поэтому система тягового электроснабжения железной дороги содержит в общем случае: линии передач электрифицированной железной дороги, тяговые подстанции, контактную сеть и линии нетяговых потребителей.

Сегодня тепловые, гидро- и атомные электростанции, вырабатывающие трехфазный ток, являются основными "поставщиками" электрической энергии для электроподвижного состава. Выработанная генераторами электростанции электрическая энергия, передается через сборные шины, высоковольтные выключатели, защитную и контактную аппаратуру на трансформаторы, которые повышают напряжение до 500 кВ и более. Затем энергия высокого напряжения поступает в линии электропередачи, когда передается на переменном токе или статическими выпрямителями преобразуется в энергию постоянного тока и потом поступает в линию электропередачи.

Обозначим принцип действия системы тягового электрического снабжения переменного тока, опираясь на рис. 1, на котором показано: 1 – высоковольт-

ная линия электрической передачи, 2 – трансформаторы тяговой подстанции, 3 – сборные шины, 4 – высоковольтные выключатели, 5, 8 – контактный провод, 6 – воздушный промежуток, 7 – нейтральная вставка, 9 – рельсы.

Трансформаторы 2, установленные на тяговой подстанции, понижают напряжение высоковольтной линии передачи 1 до 27,5 кВ, что приблизительно на десять процентов выше номинального напряжения, предусмотренного в контактной сети. Это напряжение подается на сборные шины 3 и далее, через высоковольтные выключатели 4, электрическая энергия подается в контактный провод 5, 8 и рельсы 9.

С целью обеспечения равномерной нагрузки фаз, как правило, одна фаза *A* подается на контактную сеть одного перегона *a*, вторая фаза *B*, на контактную сеть второго перегона *b*, а третья фаза *C* – к рельсам 9. Поэтому, при движении электровоза по одному перегону он получает питание от фаз *A* и *C*, а на другом перегоне его питание осуществляется от фаз *B* и *C*.

Рисунок 1. Принципиальная схема питания тяговой сети электрического снабжения переменного тока

В случае двухстороннего питания перегона от соседней тяговой подстанции, если перегон *а* получает питание от фаз *А* и *С*, тогда перегон *б* - от фаз *В* и *С*. При этом, станционные пути получают питание от любой пары фаз, через разъединители (на рис. 1 не показаны). При движении поезда и переходе полоза пантографа (токоприёмника) с фаз *А* и *С* на фазы *В* и *С* (или наоборот), контактная сеть, получающая питание от разных фаз должна быть электрически изолирована от них, так как между ними действует полное напряжение. Таким образом, секционирование контактной сети только посредством воздушных промежутков *б* будет недостаточным условием электрической изоляции. Поэтому между станционными путями и перегоном *б* включают нейтральную вставку *7* и два воздушных промежутка *б*. Такая система секционирования контактной сети исключает короткое замыкание фаз через ползун пантографа.

Электрический подвижной состав однофазно – постоянного тока при такой системе может иметь тяговые электродвигатели постоянного тока (электровоз 3ВЛ80^С), асинхронные тяговые электродвигатели

(электровоз «Узбекистан» [1]) или вентильные двигатели, принцип действия которых аналогичный работе синхронного двигателя.

Таким образом, тяговый электрический подвижной состав, в частности электровоз, приводится в движение тяговыми электродвигателями, которые, получая питание от электрических станций через линии передачи, тяговые подстанции и контактный провод, преобразуют электрическую энергию в механическую работу электровоза (локомотива), передаваемую с вала тягового электродвигателя на колёсную пару и затрачиваемую на передвижение поезда.

В общем случае, одна часть механической работы локомотива расходуется на преодоление сил основного и дополнительного сопротивления движению поезда, а другая её часть затрачивается на создание запаса кинетической и потенциальной энергии движения поезда. Кроме этого, увеличение скорости движения поезда приводит к росту сил основного сопротивления движению его и, как следствие, способствует совершению тяговым электроподвижным составом (локомотивом) большей механической работы.

На спусках, запасённая кинетическая и потенциальная энергия могут быть полностью использованы для совершения движения поезда без затрат энергии из контактной сети. При следовании поезда по спуску с возрастанием скорости движения его происходит перераспределение части потенциальной энергии в энергию кинетическую. Применение механического или реостатного электрического режимов торможения для поддержания постоянной скорости движения поезда на спусках или для снижения скорости движения поезда на горизонтальном участке железной дороги способствует потере, соответственно, части запасённой потенциальной и кинетической энергии в тормозах.

Для обоснования энергетики движения поезда в пути следования рассмотрим один из возможных вариантов движения поезда по горизонтальному участку *od* переменного тока протяжённостью *s*, показанный на рис. 2, где обозначено [4]: отрезок *ob* - режим тяги с потреблением электрической энергии; отрезок *bc* - режим холостого хода (выбега) и отрезок *cd* - режим механического торможения.

Рисунок 2. Кривая скорости движения поезда на горизонтальном участке железнодорожного пути

На отрезке *oa* железнодорожного участка пути идёт пуск электроподвижного состава. Механиче-

ская работа локомотива затрачивается на преодоление сил основного сопротивления движению поезда

и на создание запаса кинетической энергии, в результате увеличения скорости движения от нуля до значения скорости V_n . Часть электрической энергии, потребляемая электроподвижным составом переменного тока из сети при пуске, теряется в тяговых электродвигателях, передаче и преобразовательной установке.

На отрезке ab механическая работа локомотива расходуется на преодоление сил основного сопротивления движению поезда и на дальнейшее создание (увеличение, так как $V_b > V_n$) запаса кинетической энергии. В точке b начинается режим холостого хода и поезд продолжает движение в результате снижения части запасённой кинетической энергии. Скорость движения поезда уменьшается до величины V_t . Если торможение в точке c не использовалось бы, тогда движение поезда осуществлялось бы только на холостом ходу и далее, за пределы отрезка cd , без затрат электрической энергии.

При механическом режиме торможения большая часть кинетической энергии поезда будет теряться в тормозах, в точке c и только часть её идёт для совершения механической работы локомотива по преодолению сил основного сопротивления движению поезда на отрезке cd участка железной дороги.

В случае применения электрического режима торможения часть кинетической или потенциальной энергии поезда трансформируются (преобразуется) в тяговых электродвигателях, работающих в генераторном режиме, в энергию электрическую.

При реостатной системе торможения электрическая энергия поглощается тормозными резисторами, преобразуется в них в тепловую энергию и далее, рассеивается в окружающую среду. При рекуперативной системе торможения электрическая энергия возвращается в контактную сеть и может быть использована другими электровозами или моторными вагонами электрических поездов, силовые энергетические системы которых, в это время, работают в режиме тяги. В случае возврата рекуперированной энергии обратно, в контактную сеть, снижается расход электрической энергии на тягу поездов и реализацию железнодорожных перевозок разных по типу и виду грузов.

Кроме этого, увеличение механической работы локомотива на электрифицированных участках железных дорог, однозначно, приводит и к увеличению расхода электрической энергии на тягу поездов, как в количественном, так и в денежном исчислении, которые можно условно принять за один из показателей энергетической эффективности использования локомотивов электрической тяги в условиях эксплуатации. Этот показатель можно вычислить графоаналитическим методом, алгоритм и методика расчёта которого достаточно полно и подробно освещены в литературе [1,3 и другие].

Аналитические зависимости для определения показателя энергетической эффективности локомотивов электрической тяги на электрифицированных

участках железной дороги переменного тока в виде расхода электрической энергии на тягу поездов приведены в [2].

Составляющая расхода электрической энергии электровозами переменного тока в режиме тяги A_T рассчитывается по следующей формуле [3,4]:

$$A_T = \frac{\sum (U_c \cdot K_u \cdot I_{dacr} \cdot \Delta t)}{1000 \cdot 60}, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (1)$$

где I_{dacr} - действующее значение активной составляющей потребляемого тока, среднее за время Δt , А;

U_c - фактическое напряжение на токоприёмнике, среднее за полупериод с интервалом времени Δt , В;

K_u - коэффициент формы кривой напряжения при данном напряжении U_c на токоприёмнике, когда колебаний напряжения U_c в контактной сети не происходит - величина $K_u = 1,0$. В случае возникновения напряжения U_c в контактной сети отличного от "расчётного" напряжения $U_c = 25000$ В этот коэффициент K_u можно принимать по графической зависимости [4].

При использовании рекуперативного режима торможения, полученный расчётами общий (полный) расход электрической энергии уменьшается на величину возвращённой электрической энергии, обратно, в контактную сеть. В расчётах при рекуперации на переменном токе напряжение на токоприёмнике тягового электроподвижного состава принимается равное $U_c = 25000$ В (на постоянном токе напряжение $U_c = 3300$ В).

Немаловажное значение для энергетики электрифицированных участков железных дорог имеют методы рационального использования электрической энергии тяговым электроподвижным составом в условиях эксплуатации.

Опираясь на работу [4], разберём некоторые случаи экономного расходования электрической энергии при пуске, разгоне и торможении тягового электроподвижного состава.

Для тягового электроподвижного состава постоянного тока потери электрической энергии при пуске можно уменьшить за счёт выхода на безреостатную характеристику и вывода пускового реостата при меньшей скорости движения поезда, что возможно при разгоне с большими пусковыми токами тягового электродвигателя и видно из графика, показанного на рис. 3.

Помимо этого, повышение ускорения поезда при большем токе, способствует быстрому разгону, увеличению времени движения поезда на холостом ходу (выбеге) и обеспечивает начало торможения с меньшей скорости движения, что, естественно, приведёт к уменьшению потерь в тормозах.

Рисунок 3. График скорости выхода на безреостатную характеристику в зависимости от пускового тока тягового электродвигателя

На рис. 4 сплошной линией показано движение поезда $V(t)$ с более интенсивным разгоном, то есть с большим ускорением при пуске. Разгон и движение поезда под током характеризуются временем, которое показывает отрезок of_2 на оси абсцисс. Чтобы выдержать время хода поезда следует ехать после разгона с меньшей скоростью и включать тормоза при скорости V_{t2} . Менее интенсивный разгон поезда с ма-

лым ускорением при пуске показан штриховой линией, и движение в режиме тяги занимает больше времени, которому соответствует отрезок of_1 на рис. 4. В этом случае, переход на холостой ход происходит при большей скорости движения поезда, поэтому время хода его на холостом ходу меньше, чем в первом случае и торможение начинается с большей скорости движения поезда.

Рисунок 4. Влияние интенсивности разгона поезда на расход электрической энергии

Из графика на рис. 4 видно, что время хода и средние скорости движения поезда по участку пути в обоих случаях одинаковы. Однако, в первом случае, с большим ускорением при пуске расход электрической энергии становится меньше, по сравнению с менее интенсивным разгоном, который сопровождается меньшими ускорениям поезда при пуске. Потери при пуске электроподвижного состава постоянного тока можно значительно снизить с помощью использования импульсного регулирования напряжения на тяговых электродвигателях, когда пусковой реостат выведен из их цепи.

Отсутствие пускового реостата на тяговом электроподвижном составе переменного тока приводит к

потерям при пуске, возникающие вследствие меньшего коэффициента полезного действия электровоза или электропоезда.

Расход электрической энергии напрямую зависит от интенсивности замедления поезда при торможении в случае снижения скорости движения поезда или организации остановок его на станциях и раздельных пунктах.

Подтверждением сказанному является рис. 5, на котором показаны кривые скорости $V(t)$ движения поезда и тока $I_3(t)$ электровоза при одинаковых временах хода поезда на одном из перегонов участка железной дороги, но с разным замедлением в момент торможения.

Рисунок 5. Влияние интенсивности замедления поезда на расход электрической энергии

Анализ графиков на рис. 5 показывает, что большее замедление в момент торможения (кривая v_1) приводит к снижению скорости начала торможения и увеличению времени движения в режиме холостого хода поезда, а это, в свою очередь, способствует уменьшению времени хода под током и как следствие обеспечивает экономию электрической энергии на тягу поезда, величина которой соответствует площади фигуры $avcd$.

Таким образом, рекомендации правильного и грамотного управления машинистами тяговым электрическим подвижным составом в эксплуатации, несомненно, могут обеспечить значительную экономию

в расходе электрической энергии на тягу поездов. Поэтому, в каждом локомотивном депо, опираясь на опыт лучших машинистов с учётом энергетики движения поездов и математические методы оптимального управления, разрабатываются режимные карты вождения поездов, где заложены рациональные режимы работы силовых энергетических систем электрического подвижного состава.

Результаты исследования рекомендуются использовать при оценке тягово - энергетической эффективности локомотивов электрической тяги переменного тока в реальных условиях организации железнодорожных перевозок грузов и пассажиров на электрифицированных участках узбекских железных дорог.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. Основы управления локомотивов: Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков. – Ташкент: «Davt», 2012. – 392 с.
2. Абляимов О. С. К энергетике электрифицированных участков железных дорог переменного тока [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: Технические науки: электрон. научн. журнал / URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8436> (дата обращения: 06.12.2019).
3. Деев В. В. Тяга поездов [Текст] / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин // Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
4. Осипов С. И. Энергетика электрических железных дорог [Текст] / С. И. Осипов // Лекция для студентов специальности «Электрический транспорт (железнодорожный транспорт) (ЭПС)» / Российский гос. открытый техн. ун-т путей сообщения. – М.: РГОТУПС, 2002. – 36 с.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Аблялимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
 «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский институт инженеров
 железнодорожного транспорта,
 Узбекистан, Ташкент
 E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF TRACTION ROLLING STOCK OF RAILWAYS

Oleg Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
 Tashkent institute of railway transport engineering,
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Обоснованы кинематические параметры движения грузового поезда и показатели энергетической эффективности локомотивов в количественном и денежном исчислении на разных виртуальных участках железной дороги. Доказано преимущество электрической тяги над дизельной тягой путём сравнения показателей перевозочной работы исследуемых локомотивов между собой без учёта денежных затрат на инфраструктуру участков железных дорог.

ABSTRACT

The kinematic parameters of the movement of a freight train and indicators of the energy efficiency of locomotives in quantitative and monetary calculations on different virtual sections of the railway have been substantiated. The advantage of electric traction over diesel traction has been proved by comparing the indicators of the transportation work of the studied locomotives with each other without taking into account the monetary costs of the infrastructure of railway sections.

Ключевые слова: исследование, тепловоз, грузовой поезд, электровоз, переменный ток, постоянный ток, виртуальный, железная дорога.

Keywords: investigation, diesel locomotive, freight train, electric locomotive, alternating current, direct current, virtual, railway.

Эффективности использования железнодорожного транспорта в целом и всего локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари», в частности, во многом определяется и характеризуется материально – технологической базой перевозочного процесса, организацией эксплуатации участков железных дорог и движения поездов, а также результатом и затратами перевозочной работы локомотивов дизельной и электрической тяги.

Уточнение теоретических и экспериментальных исследований по изучению условий движения поездов и обоснованию параметров основных показателей перевозочной работы локомотивов на реальных и виртуальных участках железных дорог с разработкой комплексных рекомендаций и мероприятий, связанных с изысканием возможностей по повышению энергетической эффективности тягового подвижного состава локомотивного комплекса в эксплуатации продолжают оставаться актуальной задачей.

Цель настоящих исследований заключается в обосновании энергетической эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги на участках железной дороги, различных по структуру, типу и виду, при помощи математических методов [6,9] оптимального управления

В общей постановке задачи по выбору оптимального управления движением поезда (или задача оптимизации) [1] вектор состояния X движущегося поезда включает координаты скорости V , времени хода t , расхода энергии E (натурного дизельного топлива или электрической энергии), эффективности B , в том числе энергетической и другие, то есть

$$X = (V, t, E, B, \dots) \quad (1)$$

На скорость движения V и время хода t_{Π} поезда по перегонам накладываются следующие ограничения

$$\underline{V} \leq V \leq \bar{V}; \quad \underline{t}_{II} \leq t_{II} \leq \bar{t}_{II} \quad (2)$$

Начальное и конечное состояние процесса движения поезда заданы координатами пути S и скорости движения V поезда

$$(S_H, V_H), (S_K, V_K) \quad (3)$$

Одномерный управляющий параметр u принимает дискретные значения координат, принадлежащие множеству Ω_u , включающему соответствующие координаты u - х позиций управляющего параметра - для рабочего хода $u = 1, 2, 3, \dots, n_m$, холостого хода $u = 0$ и торможения $u = -1$, то есть

$$u = \{u\} \subset \Omega_u \quad (u = -1, 0, 1, 2, 3, \dots, n_m) \quad (4)$$

Движение поезда описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dv}{ds} = f(s, v, u) \quad (5)$$

где f - заданная целевая функция.

За критерий оптимальности принят показатель, характеризующий эффективность процесса – расход натурального дизельного топлива (тепловозы) или электрической энергии (электровозы) за поездку

$$E = f(s, v, u) \quad (6)$$

При выбранном управлении $u(s)$ решение уравнения (5) позволяет однозначно находить и все остальные координаты вектора состояния движущегося поезда, в том числе и показатель (параметр) эффективности перевозочного процесса.

Задача оптимизации формулируется так - необходимо найти такое оптимальное управление $\hat{u}(s)$, которое при соблюдении ограничений (2) и принятых в теории локомотивной тяги многих других ограничений обеспечит перемещение поезда согласно (3,5) с наименьшей (минимальной) величиной критерия оптимальности (6) и выполнении заданного времени хода поезда по перегонам. Здесь, термин многих других ограничений означает ограничения по ресурсам силовой энергетической установки, сцеплению движущих и тормозных колёс с рельсами, безопасности движения и надёжности работы, а также условиям эксплуатации локомотивов и организации движения поездов.

Для реализации поставленной цели исследований используем соотношения (1) – (6), опираясь на графическое решение уравнения (5) и виртуальный участок железной дороги протяжённостью $L = 8,6$ км,

на котором движение грузовых поездов с массой состава $Q = 3000$ т и числом осей в составе $m = 200$ осей организовано локомотивами дизельной и электрической тяги. При этом грузовое движение поездов организуется исходя из условий полного использования мощности и тягового качества (свойства) исследуемых локомотивов - номинальная позиция контроллера машиниста [2,10] с учётом максимальной кинетической энергии поезда при прохождении им каждого элемента профиля пути.

Объект исследования - магистральные (поездные) грузовые тепловозы $UzTE16M3$, $3TЭ10M$ и электровозы $3ВЛ80^C$, $ВЛ10$, а также неэлектрифицированный и электрифицированный на постоянном и переменном токе виртуальный участок железной дороги.

Предмет исследования составляют кинематические параметры движения грузового поезда и показатели энергетической эффективности использования исследуемых локомотивов дизельной и электрической тяги на заданном (принятом) виртуальном участке железной дороги.

В результате тягового расчёта по [7,8], проведённого для одинаковых условий эксплуатационной работы [3-5] участка железной дороги, были получены численные значения, которые представлены в табл. 1. Указанные значения характеризуют параметры перевозочного процесса в грузовом движении на виртуальном участке железнодорожного пути с различной инфраструктурой железной дороги, организованного с помощью исследуемых локомотивов дизельной (тепловозы $UzTE16M3$, $3TЭ10M$) и электрической (электровозы $3ВЛ80^C$, $ВЛ10$) тяги.

В табл. 1 символом звёздочка * обозначена полная стоимость количества электрической энергии, израсходованной исследуемыми электровозами, с учётом налога на добавленную стоимость (НДС).

Анализ полученных численных значений параметров энергетических показателей перевозочной работы для локомотивов электрической тяги, свидетельствует о том, что электровозы $ВЛ10$ (двухсекционные) экономичнее электровозов $3ВЛ80^C$ (трёхсекционные) приблизительно в 3,03 раза.

Сопоставление численных значений по аналогичным энергетическим показателям для локомотивов дизельной тяги показывает, что тепловозы $UzTE16M3$ экономичнее тепловозов $3TЭ10M$ приблизительно в 1,12 раз.

Кроме этого, из табл. 1 видно, что электровозы $ВЛ10$ (постоянный ток) и электровозы $3ВЛ80^C$ (переменный ток) экономически выгоднее тепловозов $UzTE16M3$ и тепловозов $3TЭ10M$, в среднем, соответственно в 6,48 – 7,28 раз (5,40 – 6,07 с учётом НДС) и в 2,14 – 2,40 раз (1,78 – 2,00 раз с учётом НДС).

Таблица 1.

Показатели движения грузового поезда и перевозочной работы локомотивов дизельной и электрической тяги на виртуальном участке железной дороги

Скорость движения поезда V , км/ч	Время хода поезда, мин			Расход и стоимость дизельного топлива			Расход и стоимость электрической энергии		
	общее, t_x	в режиме тяги t_t , мин	в режиме холостого хода t_{xx} , мин	общий (полный) E , кг	удельный e , кг / 10 ⁴ ткм	полная C_t , с\ум	общий (полный) A , кВт-ч	удельный a , Вт-ч / ткм	полная C_e , с\ум
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масса состава $Q = 3000$ т, число осей в составе $m = 200$ осей									
Локомотивы электрической тяги									
Электровозы ВЛ10									
72,68	7,10	5,90	1,20	-	-	-	436,09	16,90	37957,3 45527,8*
Электровозы 3ВЛ80^С									
72,17	7,15	6,15	1,0	-	-	-	1322,1	51,24	115075,6 138027,2*
Локомотивы дизельной тяги									
Тепловозы 3ТЭ10М									
72,68	7,10	6,10	1,0	156,08	60,49	276332	-	-	-
Тепловозы УзТЕ16МЗ									
72,68	7,10	6,10	1,0	138,85	53,82	245827	-	-	-

Доказано преимущество эксплуатационной деятельности электрифицированных участков железных дорог постоянного тока над электрифицированными участками железных дорог переменного тока и в большей степени над неэлектрифицированными участками железных дорог.

В заключении отметим, что исследования по обоснованию энергетической эффективности использования разных видов локомотивной тяги необходимо продолжить на реальных участках железных дорог с учётом денежных затрат на развитие их путевой инфраструктуры.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. О методах исследования перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Республиканская научно – техническая конференция с участием зарубежных учёных, посвящённая 80-летию ТашИИТ «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 2011. – С. 79 – 85.
2. Абляимов О. С. Основы управления локомотивов: Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков. – Ташкент: «Davt», 2012. – 392 с.
3. Абляимов О. С. К энергетике электрифицированных участков железных дорог переменного тока [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2019. № 12 (69). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8436> (дата обращения: 06.12.2019).
4. Абляимов О. С. К энергетике неэлектрифицированных участков железных дорог [Текст] / О. С. Абляимов // Научно – техническая конференция «Энергоэффективность - 2019» / Ташкентский гос. техн. ун-т. – Ташкент, 2019. – С. 113 – 118.
5. Абляимов О. С. Энергетика электрифицированных участков железных дорог постоянного тока [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 8 (77). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/10612> (дата обращения: 25.08.2020).
6. Беллман Р. Динамическое программирование [Текст] / Р. Беллман. - М.: Иностранная литература, 1960, 400 с.
7. Деев В. В. Тяга поездов [Текст] / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин // Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
8. Кузьмич В. Д. Теория локомотивной тяги [Текст] / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель // Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.
9. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов [Текст] / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. - М.: Наука, 1983, 393 с.
10. Правила тяговых расчётов для поездной работы [Текст] / Всесоюзный научно – исследовательский институт железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

К АНАЛИЗУ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗОВ 3ТЭ10М НА УЧАСТКЕ МАРОКАНД – КАТТАКУРГАН УЗБЕКСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Аблялимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
 «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский институт инженеров
 железнодорожного транспорта,
 Узбекистан, Ташкент
 E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

Ходжиев Жасур Джурса угли

магистр, ассистент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»
 Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта,
 Узбекистан, Ташкент
 E-mail: jassergeli_94@mail.ru

TO ANALYSIS OF TRANSPORTATION WORK OF 3TE10M DIESEL LOCOMOTIVES ON THE MAROKAND – KATTAKURGAN AREA OF UZBEK RAILWAY

Oleg Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
 Tashkent institute of railway transport engineering,
 Uzbekistan, Tashkent

Jasur Khodjiyev

master, assistant of the chair «Locomotives and locomotive economy»
 Tashkent institute of railway transport engineering,
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Получены значения показателей энергетической эффективности тепловозов 3ТЭ10М на реальном участке Узбекской железной дороги при движении грузовых поездов разной массы состава. Приведены уравнения регрессии для определения основных показателей перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М в процессе движения грузовых поездов без остановок и с остановками на участке Мароканд – Каттакурган для любой i – й массы состава.

ABSTRACT

The values of the energy efficiency indicators of 3TE10M diesel locomotives on the real section of the Uzbek railway during the movement of freight trains of different mass of the train were obtained. Regression equations are given to determine the main indicators of the transportation operation of 3TE10M diesel locomotives during the movement of freight trains without stops and with stops at a given section Marokand - Kattakurgan for any i -th mass of the train.

Ключевые слова: грузовой поезд, тепловоз, участок, скорость, расчёт, анализ, холмисто - горный, перегон, профиль, показатель, железная дорога.

Keywords: the freight train, the diesel locomotive, the area, the speed, calculation, analyses, hilly - mountainous, stage, profile, indicator, railway.

Данные исследования являются продолжением [1,2] и входят в цикл работ авторов, связанных с обоснованием эффективности перевозочной работы локомотивов дизельной и электрической тяги для условий эксплуатационной деятельности узбекских железных дорог неодинаковых по степени трудности и сложности профиля пути железнодорожных участков.

Целью исследований является обоснование количества израсходованного натурального дизельного топлива грузовыми тепловозами 3ТЭ10М на холмисто –

горном участке Мароканд – Каттакурган Узбекской железной дороги для двух видов движения грузовых поездов разной массы состава.

Величина расхода натурального дизельного топлива составляет один из параметров энергетических показателей перевозочной работы локомотивов дизельной тяги, то есть, в каком-то смысле, является критерием их энергетической эффективности.

Методику исследования составляют тяговые расчёты и аналитические зависимости [1-3] для вычис-

ления количества израсходованного натурального дизельного топлива локомотивами дизельной тяги (тепловозами).

Величина расхода натурального дизельного топлива тепловозом 3ТЭ10М на номинальной позиции контролера машиниста составляет $G_T = 25,20$ кг/мин, а в

режиме холостого хода и торможения - $g_x = 1,14$ кг/мин [1,2].

В табл. 1 приведены результаты тягового расчёта на холмисто - горном участке Узбекской железной дороги.

Таблица 1.

Данные тягового расчёта для тепловозов 3ТЭ10М на участке Мароканд – Каттакурган

Условия перевозочной работы				Расход натурального дизельного топлива					
масса состава $Q, т$	число осей m , осей	техническая скорость движения V_T без остановок, км/ч	техническая скорость движения V_T с остановками, км/ч	без остановок			с остановками		
				общий	удельный		общий	удельный	
				за поездку E , кг	натурного топлива e , кг/10 ⁴ ткм брутто	условного топлива e_y , кг/10 ⁴ ткм брутто	за поездку E' , кг	натурного топлива e' , кг/10 ⁴ ткм брутто	условного топлива e'_y , кг/10 ⁴ ткм брутто
1	2	3		4	5	6	7	8	9
2500	200	73,09	65,04	372,98	24,15	34,54	493,87	31,98	45,74
3000	200	72,03	62,28	389,48	21,02	30,06	523,77	28,27	40,42
3500	200	71,75	61,61	419,78	19,42	27,77	558,19	25,82	36,92
Средние значения		72,29	62,98	394,08	21,53	30,79	525,28	28,69	41,03
Усреднённые значения по двум видам движения									
масса состава $Q, т$	число осей m , осей	техническая скорость движения V_T , км/ч		за поездку E , кг	натурного топлива e , кг/10 ⁴ ткм брутто		условного топлива e_y , кг/10 ⁴ ткм брутто		
2500	200	69,06		433,42	28,06		40,14		
3000	200	67,15		456,62	24,64		35,24		
3500	200	66,68		488,98	22,62		32,34		
Средние значения		67,63		459,68	25,11		35,91		

Из анализа данных табл. 1 видно, что эффективность исследуемых грузовых тепловозов 3ТЭ10М снижается для режима ведения грузовых поездов с остановками на отдельных пунктах исследуемого участка.

В табл. 2 приведены показатели энергетической эффективности грузовых тепловозов 3ТЭ10М на холмисто – горном участке Узбекской железной дороги.

Таблица 2.

Численные значения энергетической эффективности тепловозов 3ТЭ10М на участке Мароканд – Каттакурган

Грузовой поезд		Приведённые расходы натурального дизельного топлива					
масса состава $Q, т$	число осей m , осей	без остановок			с остановками		
		общий	удельный		общий	удельный	
		за поездку E , кг/км	натурного топлива e , кг/10 ⁴ ткм брутто:км	условного топлива e_y , кг/10 ⁴ ткм брутто:км	за поездку E' , кг/км	натурного топлива e' , кг/10 ⁴ ткм брутто:км	условного топлива e'_y , кг/10 ⁴ ткм брутто:км
1	2	4	5	6	7	8	9
2500	200	6,040	0,391	0,559	7,998	0,518	0,741
3000	200	6,307	0,340	0,487	8,482	0,458	0,654
3500	200	6,798	0,314	0,450	9,039	0,418	0,598
Средние значения		6,382	0,348	0,498	8,506	0,465	0,664

Приведённые значения общего и удельного расходов натурального дизельного топлива по двум видам движения грузового поезда вычисляли, как равномерно распределённые упомянутые расходы топлива по всей длине железной дороги.

Аналогично [2] с учётом данных [1] авторами были построены уравнения регрессии (аналитические зависимости) для определения кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров энергетической эффективности тепловозов

3ТЭ10М при реализации железнодорожных перевозок грузов на участке Мароканд – Каттакурган, без остановок (числитель) и с остановками (знаменатель).

Условные обозначения упомянутых выше параметров приведены в [2].

Для кинематических параметров движения грузового поезда:

$$t_x = -0,275Q_i^2 + 1,575Q_i + 49,40 / t_x = -0,475Q_i^2 + 3,025Q_i + 55,35 \quad (1)$$

$$t_r = 0,3Q_i^2 - 0,25Q_i + 13,05 / t_r = 0,15Q_i^2 + 0,65Q_i + 17,05 \quad (2)$$

$$t_{xx,r} = -0,575Q_i^2 + 1,825Q_i + 36,35 / t_{xx,r} = -0,625Q_i^2 + 2,375Q_i + 38,30 \quad (3)$$

$$V_r = 0,39Q_i^2 - 2,23Q_i + 74,93 / V_r = 1,045Q_i^2 - 5,895Q_i + 69,89 \quad (4)$$

Для параметров энергетической эффективности тепловозов 3ТЭ10М:

$$E = 6,9Q_i^2 - 4,2Q_i + 370,28 / E = 2,26Q_i^2 + 23,12Q_i + 468,49 \quad (5)$$

$$e = 0,765Q_i^2 - 5,425Q_i + 28,81 / e = 0,63Q_i^2 - 5,6Q_i + 36,95 \quad (6)$$

$$C_r = 12,22Q_i^2 - 7,45Q_i + 655,57 / C_r = 4Q_i^2 + 40,94Q_i + 829,43 \quad (7)$$

$$c_r = 0,198Q_i^2 - 0,1216Q_i + 10,614 / c_r = 0,065Q_i^2 + 0,662Q_i + 13,429 \quad (8)$$

В результате проведённых исследований обоснованы значения показателей энергетической эффективности грузовых тепловозов 3ТЭ10М на холмисто – горном участке Мароканд – Каттакурган Узбекской

железной дороги и получены уравнения регрессии для их определения в реальных условиях организации железнодорожных перевозок разных по типу грузов.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. К анализу перевозочной работы тепловозов UzTE16M3 на участке Мароканд – Каттакурган Узбекской железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, Ж. Д. Ходжиев // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 8 (77). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10588>.
2. Абляимов О. С. Тяговые расчёты для тепловозов 3ТЭ10М на участке Мароканд – Каттакурган Узбекской железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, Ж. Д. Ходжиев // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 8 (77). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10626>.
3. Деев В. В. Тяга поездов [Текст] / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин // Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Абляимов Олег Сергеевич

*канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский государственный транспортный университет,
Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com*

INDICATORS OF EFFICIENCY OF LOCOMOTIVES USE IN OPERATING CONDITIONS

Oleg Ablyalimov

*Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair, «Locomotives and locomotive economy»
Tashkent state transport university,
Uzbekistan, Tashkent*

АННОТАЦИЯ

Получены силовые и энергетические показатели эффективности локомотивов в эксплуатации, которые можно использовать для анализа и оценки производительности локомотивов на разных по степени трудности участках железных дорог.

ABSTRACT

The power and energy indicators of the efficiency of locomotives in operation have been obtained, which can be used to analyze and evaluate the performance of locomotives on railway sections of different degrees of difficulty.

Ключевые слова: силовой, энергетический, показатель, производительность, локомотив, перевозочная работа, коэффициент.

Keywords: power, energy, indicator, performance, locomotive, transportation work, coefficient.

Оценке эффективности использования локомотивов в эксплуатации посвящены многочисленные работы, которые охватывают вопрос оценки эффективности тяги по комплексу тягово – энергетических, эксплуатационных и экономических показателей, и рассматривают методы оценки использования локомотивов по времени, по мощность и располагаемому запасу работы.

Здесь можно указать на три разновидности исследований: работы, рассматривающие вопросы улучшения использования локомотивов во времени; работы, изучающие использование локомотивов в процессе движения и часть работ, изучающих комплекс вопросов перевозочной работы локомотивов – выбор и анализ показателей производительности локомотивов, веса (массы) составов, расчётных скоростей движения и другие.

Таким образом, оценка результатов эффективности работы локомотивов должна проводиться с учётом энергетических, силовых и экономических итогов перевозочного процесса локомотивов.

Энергетические показатели позволяют рассматривать результаты на основе величин, взаимосвязанность которых определяется законом сохранения энергии. В результате получают характеристики вполне сравнимые для любых условий работы, что расширяет правомерность выводов. Силовые показатели дают представление об использовании силовой

энергетической установки локомотива на участке, как по установленной мощности, так и по времени её загрузки. Экономические показатели являются обобщающими параметрами, выраженными единым мером – денежной единицей.

Однако, при отнесении их к продукции, которая выражается в тонна - километрах поездной работы, имеющей неодинаковую энергоёмкость, результаты оценки эффективности не всегда будут отражать истинное положение. В практических условиях часто пользуются также эксплуатационные показатели, учитывающие результаты работы без связи её с энергетическими и силовыми преобразованиями в локомотивах. Эти показатели (т км брутто поездной работы, км пробега, скорость, вес и масса состава и пр.) не имеют между собой точных соотношений и поэтому, не могут правильно отражать зависимости между выполненной работой и расходом энергии, скоростью и пр.

Отметим, что различные показатели можно выражать как в абсолютном, так и в относительном выражении [5] и они могут определяться за любой период - сутки, оборот локомотива, период движения и т.д.

В процессе перевозочной работы локомотивов (ПРЛ) на участке, подводимая энергия преобразуется в касательную механическую работу локомотива A_k ,

которая распределяется на полезную, производительную часть, расходуемую на преодоление сил сопротивления состава A'' и на непроизводительную часть, которая расходуется на преодоление сил сопротивления локомотива A' и работу тормозных сил A_T поезда. Величины A' и A_T нередко достигают 20 - 40 процентов от значений A_k и снижение их на конкретном участке зависит от организации движения и технологии работы локомотивов с поездами. Величина A'' в конкретных условиях эксплуатации является неуправляемой и снижение её требует улучшение технического содержания подвижного состава, реконструкции его и верхнего строения пути.

Определение механической работы сил, действующих на поезд, является необходимым для подсчётов показателей эффективности локомотивов, что можно сделать, используя аналитические [6] или графические [4] методы.

В задачах оптимизации перевозочной работы локомотивов подсчёты координат механической работы сил, действующих на поезд, при выполнении их на ЭВМ обычно производят по следующим выражениям.

Касательная механическая работа локомотива

$$A_k = \sum_{n=0}^{n=m} (a_k \cdot V_k^n) \cdot h_n, \quad (n = 0, 1, \dots, m) \quad (1)$$

Механическая работа сил сопротивления движению состава

$$A'' = Q \sum_{n=0}^{n=m} [\sum_{n=0}^{n=3} (a_k \cdot V_k^{n-1}) + i_{кп}] \cdot h_n, \quad (n = 0, 1, \dots, m) \quad (2)$$

Механическая работа сил сопротивления движению локомотива

$$A' = \sum_{n=0}^{n=m} [\sum_{n=0}^{n=2} (a_k \cdot V_k^n) + i_{кп}] \cdot h_n, \quad (n = 0, 1, \dots, m) \quad (3)$$

Механическая работа тормозных сил поезда

$$A_T = (P_0 + Q) \cdot \sum_{n=0}^{n=m} a_T \frac{a' \cdot V_c + a''}{a''' \cdot V_c + a''''} \cdot h_n, \quad (n = 0, 1, \dots, m) \quad (4)$$

где P_0 и Q – соответственно, вес локомотива и состава;

$\sum a_k \cdot V_k^n$ – зависимости силы тяги и сил сопротивления движению;

a_k – соответствующие коэффициенты аппроксимирующего полинома;

$i_{кп}$ – текущее значение подъёма (уклона);

a', a'', a''', a'''' – коэффициенты зависимости тормозной силы от величины тормозного коэффициента поезда v и типа тормозных колодок;

h_n – шаг интегрирования по пути;

V_c – среднее значение скорости движения на шаге интегрирования h_n .

Выражения (1 - 4) решаются для соответствующих значений скорости, которые определяются интегрированием уравнения движения поезда (9 б) [1].

Механическая работа сил действующих на поезд на отдельных участках зависимости от условий работы может колебаться, как по величине, так и по знаку, а именно:

$$A_k \geq 0; 0 \geq A'' \geq 0; 0 \geq A' \geq 0; A_T \leq 0 \quad (5)$$

В расчётах нередко приходится рассматривать случаи движения поезда от момента трогания с места до момента остановки, то есть $V_n = V_k = 0$.

Для таких случаев будем иметь,

$$A_k = A' + A'' + A_T \quad (6)$$

Использование выражения (6) нередко упрощает определение того или иного значения величины механической работы.

На участках, где имеется значительное понижение центра тяжести поезда, величины A' , и A'' будут поло положительными. В таких случаях, равенство (6) сохраняется за счёт увеличения слагаемой A_T . Однако, аналогичный баланс по расходу энергии в таких случаях не будет иметь место, так как эквивалентная величине A_T энергия будет включать не только подведённую энергию, но и определённое количество потенциальной энергии поглощённой тормозами, что следует учитывать при расчётах расхода энергии на участках.

Ряд программ расчётов перевозочной работы локомотивов для ЭВМ [2 и другие] позволяют определять на участках величины A_k , A' , A'' , и A_T , а также невозвратимую работу вредных сил сопротивления A_c движению, включающую работу сил основного сопротивления, сил дополнительного сопротивления от кривых и работу сил торможения

$$A_c = A_k - (P_0 + Q) [\sum i_{кп} \cdot h_n + 0,00417 \cdot (V_{кт}^2 - V_{нт}^2)] \quad (2.7)$$

где $i_{кп}$ – текущий элемент профиля пути на шаге интегрирования, ‰;

h_n – текущий шаг интегрирования по пути принятым численным методом;

$V_{нт}$ и $V_{кт}$ – соответственно, скорости в начале и конце торможения, км / ч;

(P_0+Q) - вес поезда, т.

Механическую работу сил сопротивления состава, которая необходима для подсчётов продукции в условных ткм брутто, с достаточной для практики точностью можно определять для участков работы локомотивов, используя соответствующие отчётные данные по выражениям [5] за поездку, то есть

$$A' = Q \cdot L \cdot (w_{os} + i_{кп}) \quad (2.8)$$

$$\sum A'' = w_{oc} \cdot \sum QL + (\sum Q' - \sum Q'') \cdot H_c + 700 \cdot \sum \frac{S_k}{R} \quad (2.9)$$

где $\sum QL$ - общая величина поездной работы на участке протяжённостью L , км, т км брутто;

$\Sigma Q'$ - вес составов в направлении станции оборота локомотива, расположенной относительно второй станции оборота выше на H_c , то есть на величину геометрического превышения, т;

$\Sigma Q''$ - вес составов в обратном направлении, т;

H_c - разность высотных отметок конечных станций на участке, м;

$\Sigma S_k/R$ - сумма отношений длин кривых S_k , км к их радиусам R , м;

$w_{ос}, w_{ос}$ - средневзвешенные по пути значения основного удельного сопротивления состава за поездку или составов за рассматриваемый период, кгс/т (Н/кН), приближённо определяют по рекомендациям [6];

$i_{кс}$ - средневзвешенный по пути подъём (уклон) на участке, ‰.

При известных величинах механической работы, значения относительных показателей производительности локомотивов [6] определяются для периода хода поезда следующими выражениями:

- силовой производительности

$$\mu_x'' = \frac{0,0037037 \cdot A''}{N_k^{max} \cdot t} \quad (10)$$

- энергетической производительности для тепловозов

$$\eta_x'' = \frac{2,3419 \cdot A''}{Q_p^n \cdot E} \quad (11)$$

- энергетической производительности для электровозов

$$\eta_x'' = \frac{0,0072 \cdot A''}{E_3} \quad (11')$$

- денежной ходовой производительностью

$$\gamma_x = \frac{0,434 \cdot A''}{\varepsilon_x} \quad (12)$$

В приведённых выражениях:

N_k^{max} - наибольшая касательная мощность локомотива, л.с. (кВт);

t - время хода, ч;

Q_p^n - низшая теплотворная способность рабочего топлива, ккал/л.с.;

E, E_3 - расход натурального дизельного топлива (электроэнергии), кг (кВт-ч).

Коэффициенты пересчёта механической работы в другие единицы измерения работы и энергии приведены в [5,7] и были использованы в вышеуказанных формулах.

Знаменатель формул (10 - 12) выражает затраты, связанные с получением продукции. Произведение $N_k^{max} \cdot t$ характеризует располагаемую работу локомотива и в течение времени t за предоставленную мощность N_k^{max} (за локомотив) приходится оплачивать расходы, пропорциональные времени.

Фактически выполненная механическая работа локомотива будет меньше располагаемой работы и определяется, как было указано выше.

Отношение величины μ_x равно:

$$\mu_x = \frac{0,0037 \cdot A_k}{N_k^{max} \cdot t} \quad (13)$$

называем коэффициентом ходовой загрузки силовых агрегатов локомотива, пропорционально которому будут расходы, связанные с расходом энергии и ремонтом силовых агрегатов, а также с расходами по ремонту ходовых частей подвижного состава и текущего содержания пути. Увеличение A_k или μ_x будет увеличивать эти расходы, поэтому увеличение A_k при заданном грузопотоке Γ не оправдано.

Следует увеличивать полезную часть механической работы локомотива, используемой на преодоление сил сопротивления состава, то есть отношение

$$\beta'' = \frac{A''}{A_k} \quad (14)$$

называем показателем совершенства процесса перевозочной работы локомотива, который колеблется в довольно широких пределах в зависимости от комплекса условий перевозочной работы локомотива.

Силовая и энергетическая производительность может выражаться через следующие величины, а именно:

$$\mu_x'' = \beta'' \cdot \mu_x \quad (15)$$

$$\eta_x'' = \beta'' \cdot \eta_x \quad (16)$$

На величину коэффициента ходовой загрузки силовых агрегатов μ_x'' и энергетической производительности η_x'' локомотива решающее значение имеет изменение β'' - показателя совершенства процесса перевозочной работы локомотива.

Увеличение A_k связано с увеличением соответствующих расходов энергии и денежных средств, тогда как совершенствование процесса перевозочной работы локомотива за счёт повышения A'' не приводит к их росту [8,9].

На величину общих денежных расходов большое влияние оказывает расход энергии, который определяется соответствующими методами на основании характеристик локомотивов, приведённых в [3].

Имеется определенная связь между механической работой и расходом энергии за поездку на участке, которую можно выразить для тепловозов

$$E = \frac{2,3419 \cdot A_k}{Q_p^n} \quad \text{или} \quad E = \frac{2,3419 \cdot A''}{\eta_x''} \quad (17)$$

и для электровозов

$$E_3 = \frac{0,00272 \cdot A''}{\eta_x} \quad \text{или} \quad E_3 = \frac{0,00272 \cdot A''}{\eta_x''} \quad (18)$$

Величина

$$\eta_x = \frac{2,3419 \cdot A_k}{Q_p^H \cdot E} \quad (19)$$

является средним коэффициентом полезного действия (к.п.д.) брутто тепловоза за период хода (аналогично $\eta_x = \frac{0,00272 \cdot A_k}{E_3}$ - для электровозов).

Увеличение полезной работы A'' приводит и к увеличению η_x'' , поэтому роста расхода энергии не

происходит, что свидетельствует о необходимости увеличения величины β'' в процессе перевозочной работы локомотива.

Таким образом, проведёнными исследованиями обоснованы силовые и энергетические показатели эффективности перевозочной работы локомотивов в условиях эксплуатации, которые рекомендуются для практического использования в локомотивном комплексе железных дорог.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. К методу решения задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10675> (дата обращения: 30.08.2020).
2. Быков В. Н. Производство тяговых расчётов и определение эксплуатационных расходов по передвижению поездов [Текст] / В. Н. Быков, К. М. Берестовенко // Тр. ВНИИТС, вып. 51 / Всероссийский науч – иссл. ин-т твёрдых сплавов. – Москва, 1964. – С. 59 – 67.
3. Бабичков А. М. Тяга поездов и тяговые расчёты [Текст] / А. М. Бабичков, П. А. Гурский, А. П. Новиков // Учебник для студентов вузов ж-д транспорта. – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
4. Джамадзе О. В. Графический способ определения механической работы локомотива [Текст] / О. В. Джамадзе // Тр. НИИЖТ, вып. 16 / Науч-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – Новосибирск, 1958. – С. 49 – 55.
5. Толкачёв А. В. Относительные показатели использования локомотивов [Текст] / А. В. Толкачёв // «Вестник ВНИИЖТ» / Всесоюзный науч-иссл. ин-т. ж-д транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1963, № 3. – С. 73 – 79.
6. Толкачёв А. В. Аналитический способ определения механической работы сил, действующих на поезд [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашиИТ, вып. 17 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 1961.
7. Толкачёв А. В. Тягово - экономические расчёты на ЭВМ [Текст] / А. В. Толкачёв, С. Г. Упадышева // Тр., ТашиИТ, вып. 43 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 1967. – С. 53 – 61.
8. Толкачёв А. В. Влияние условий эксплуатации на эффективность использования локомотивов [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашиИТ, вып. 43 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 1967. – С. 62 – 71.
9. Толкачёв А. В. Расход энергии на преодоление сил сопротивления движению [Текст] / А. В. Толкачёв // Тр. ТашиИТ, вып. 43 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д транспорта. – Ташкент, 1967. – С. 72 – 79.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ДИЗЕЛЬНОЙ ТЯГИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аблялимов Олег Сергеевич

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. профессора кафедры
 «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентский государственный транспортный университет,
 Узбекистан, Ташкент
 E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF USING OF DIESEL TRACTION LOCOMOTIVES IN OPERATION

Oleg Ablyalimov

Doctor of philosophy, chief worker, acting professor of the chair «Locomotives and locomotive economy»
 Tashkent state transport university,
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования по обоснованию эффективности перевозочной работы локомотивов дизельной тяги – грузовых тепловозов на некоторых реальных участках железных дорог.

ABSTRACT

The results of a study on the substantiation of the efficiency of the transportation work of diesel traction locomotives - freight diesel locomotives on some real sections of the railways are presented.

Ключевые слова: исследование, нагрузка на ось, локомотив, показатель, производительность, перевозочная работа, оптимизация, число осей.

Keywords: research, axle load, locomotive, optimization, indicator, number of axles, performance, transportation work.

Полученная продукция и соответствующие затраты для конкретных условий перевозочной работы локомотивов зависят от мощности и совершенства технических средств организации движения и достигнутой технологии работы. Изменение материально - технической базы Мб транспорта происходит периодически за счёт соответствующих капитальных вложений, направленных на повышение установленной мощности, повышения коэффициента полезного действия, эксплуатационной надёжности и удобства.

При имеющейся материально - технической базе Мб, улучшение и совершенствование режимов перевозочной работы локомотивов являются предметом непрерывных забот предприятий железнодорожного транспорта.

В данном исследовании расчёты производились на основе соответствующих характеристик локомотивов и вагонов, приведённых в ПТР [5] и правилах технической эксплуатации соответствующих железных дорог [6]. Расчёты выполнялись по [2,4,5], а также на ЭВМ, при этом использовались данные для участков главного хода Казахской и Среднеазиатской железных дорог при самых разнообразных условиях работы.

В большинстве случаев изучалось влияние условий перевозочной работы локомотивов на ходовые показатели использования локомотивов, хотя ряд примеров сделан с показателями для эксплуатационного периода. Для конкретных условий на участках, показатели эффективности перевозочной работы локомотивов будут

связаны с объёмом выполненной работы, то есть весом (массой) состава и длиной участка, а также затратами времени, энергии, рабочей силы и прочее.

Величина расходов периода хода определяется согласно (1) [1]. Величина $\mathcal{E}_{\text{хн}}$ связана непосредственно с объёмом работы на участке, а величины $\mathcal{E}_{\text{хк}}$ и $\mathcal{E}_{\text{хв}}$ связаны со временем, зависящим от режима ведения поезда.

Слагаемая $\mathcal{E}_{\text{хв}}$ пропорциональна общему времени хода поезда, а величина $\mathcal{E}_{\text{хк}}$ зависит от упомянутого времени в сложной зависимости. Общее время движения на участке складывается из периодов t_p - рабочего хода, t_x - холостого хода и t_t - торможений. Энергетические затраты каждого названного периода различны. Сочетания указанных периодов может быть самое различное, что и ведёт к большим колебаниям величины $\mathcal{E}_{\text{хк}}$. Периоды t_p , t_x и t_t будут, определяться принятым режимом ведения поезда, определяющим во многом и общее время хода поезда. Поэтому выбор оптимальных режимов ведения оказывает существенное влияние на величину $\mathcal{E}_x$, а также и на показатели использования локомотивов.

Таким образом, время хода и режим ведения поезда оказывают своё влияние и на слагаемые $\mathcal{E}_{\text{гх}}$ и $\mathcal{E}_{\text{гв}}$, определяя во многом и величину $\mathcal{E}_r$. Всё сказанное указывает на огромное значение правильного выбора времени хода поезда по перегонам и соответствующего режима ведения его для конкретных условий организации работы на участках.

Для конкретных условий при определенном объеме работы, определенных Мб и Ор, выявление наивыгоднейшей технологии работы за период движения поезда является основой борьбы за повышение эффективности перевозочной работы локомотивов.

Отметим, что при изучении того или иного фактора в рассматриваемых случаях принималось изменение одного этого фактора при неизменных остальных, а оптимальное время хода и режим ведения поезда соответствовал принятым условиям работы.

Объем эксплуатационной работы локомотива за период хода определяется весом (массой) состава и длиной участка, при этом величина $\mathcal{E}_x$ будет изменяться с изменением веса (массы) состава за счет изменения всех вышеупомянутых трех слагаемых.

В табл. 1 показано изменение показателей использования тепловозов ТЭЗ и 2ТЭ10Л при различных весах составов, при изменении числа осей и неизменной нагрузке на ось вагонов. Ограничения скоростей на участках приняты согласно приказам Н начальника дороги, а остановки поездов делались лишь на станциях смены локомотивных бригад.

Приведенные данные показывают, что изменение веса состава за счет числа осей в пределах 10 – 15 процентов для тепловозной тяги приводит к незначительным изменениям ходовой денежной производительности (всего на 1-4 процента).

Таблица 1.

Показатели использования тепловозов 2ТЭ10Л на некоторых участках Среднеазиатской железной дороги в зависимости от веса состава и числа осей ($q_0 = 15$ т/ось, $\delta = 0,632$)

Участок	Q , т	m , осей	t , ч	$\mathcal{E}_x$, руб./п.у.	Показатели использования			
					μ_x''	η_x''	γ_x	ε_x
1	2	3	4	5	6	7	8	9
М-А	3400	226	4,970	483,1	0,497	0,223	2880	0,550
	3700	246	5,040	534,2	0,528	0,225	2790	0,567
	4000	266	5,120	568,2	0,554	0,230	2830	0,560
К-Х	3400	226	7,110	718,5	0,496	0,205	2770	0,575
	3700	246	7,310	763,9	0,518	0,207	2810	0,565
	4200	280	7,656	835,9	0,550	0,212	2820	0,562

Повышение веса за счет числа осей приводит к соответствующему снижению скорости движения поезда при повышении силовой и энергетической производительности локомотива. Последнее может привести к снижению слагаемой $\mathcal{E}_{xk}$, а в это же время слагаемая $\mathcal{E}_{xv}$ возрастает также, как и слагаемая $\mathcal{E}_{xn}$, которая пропорциональна объему эксплуатационной работы, обозначенной на рис. 1 и рис. 2.

В результате денежная производительность снижается. В некоторых случаях может снизиться и ходовая производительность за счет увеличения и слагаемой $\mathcal{E}_{xk}$ при увеличении веса за счет роста числа осей в составе, что объясняется значительным повышением расхода энергии при наличии многочисленных ограничений скоростей движения на участке (см. табл. 1 для участка М - А, где величина $\mathcal{E}_x$ увеличилась на 19 процентов при весе состава 4000 т, по сравнению с данными для веса состава $Q = 3400$ т).

Рисунок 1. Изменение величин $\mathcal{E}_x$, γ_x , ε_x на участке М – А в зависимости от числа осей в составе поезда при $q_0 = 15$ т/ось

Рисунок 2. Изменение величин $\mathcal{E}_x$, γ_x , ε_x на участке X – Ч в зависимости от нагрузки на ось колёсной пары при $m = 176$ осей

Изменение ходовой производительности при увеличении длины участка с однотипным профилем не приводит к заметным изменениям показателей эффективности, хотя можно ожидать незначительное снижение удельной доли расходов периода хода в зависимости от общей величины приведённых народно - хозяйственных годовых затрат.

Влияние изменения веса состава на показатели использования тепловозов и электровозов является различной. Тепловозы реализуют почти неизменную мощность в широком диапазоне скоростей, в связи с чем, показатели производительности их работы мало меняются при изменении веса состава. Так на участке равнинного профиля при повышении веса на 30 - 35 процентов для тепловоза ТЭЗ силовая производительность повысилась на 2 - 5 процента (движение без остановок) и снизилась на 2 - 3 процента при движении с остановками на промежуточных раздельных пунктах. Значения ходовых коэффициентов силовой производительности были равны $\mu_x'' = 0,70 - 0,95$ единиц без больших колебаний их при изменении веса состава. На участках горного профиля увеличились колебания значений силовой производительности в незначительной степени. Величина γ_x также колебалась в пределах ± 2 процента.

Для электрической тяги колебания величин μ_x'' , η_x'' , γ_x уже составляло 10 - 15 процентов при измене-

нии веса на 15 - 20 процента, что объясняется большим изменением мощности электровозов при изменении скорости движения поезда.

Изменение объёма работы локомотива на участке за счёт изменения средней нагрузки на ось в составе (при неизменном числе осей) приводит к соответствующему изменению сопротивления движению, а это оказывает свое влияние на величину $\mathcal{E}_x$. Повышение веса поезда при увеличении q_0 приводит к увеличению величины $\mathcal{E}_{хв}$, а показатель γ_x при этом уменьшается.

В табл. 2.4 приведены результаты подсчётов, в том числе величины ε_x при соответствующих значениях q_0 , которые показывают, что при увеличении q_0 с 5,65 т/ось до $q_0 = 15$ т/ось величина ε_x снижается на 2,5 - 18,5 процентов, хотя имеется определенное увеличение показателей силовой и энергетической производительности, а также возрастание коэффициента β'' .

Увеличение $\mathcal{E}_x$ при таком увеличении объёма перевозочной работы является следствием роста слагаемых $\mathcal{E}_{хк}$ и $\mathcal{E}_{хн}$ в связи с ростом энергетических затрат и объёма перевозочной работы в большей степени, чем имеется соответствующее снижение $\mathcal{E}_{хк}$ в связи с ростом μ_x'' и η_x'' . Расходы $\mathcal{E}_{хк}$ и $\mathcal{E}_{хн}$ на единицу полезной механической работы (или на единицу условного ткм) при увеличении веса (массы) состава за счёт нагрузки на ось возрастают, что и приводит к снижению денежной производительности.

Таблица 2.

Показатели использования тепловозов ТЭЗ на участке X - Ч Среднеазиатской железной дороги в зависимости от веса состава и нагрузки на ось вагонов при $m = 176$ осей в составе

Q , т	q_0 , т/ось	δ	t , ч	$\mathcal{E}_x$, руб/п.у.	Показатели использования			
					μ_x''	η_x''	γ_x	ε_x
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2000	11,4	0,518	5,085	336,47	0,39	0,167	0,10	1,063
2600	15,0	0,635	5,370	382,7	0,388	0,1525	1950	0,757
3400	19,4	0,717	5,772	443,0	0,375	0,141	1755	0,594

Средняя нагрузка на ось в составе включает нагрузку от тары и самого груза. Поэтому, зная соотношение веса груза нетто к весу брутто, следует определять ходовую и приведённую эффективность процесса перевозочной работы локомотивов нетто на участке согласно выражениям (10) и (11) [1].

Величины ε_x и ε_n будут полностью отражать эффективность использования локомотивов в процессе перевозок, что даст окончательное представление об эффективности использования локомотивов в перевозочной работе для любых условий. Однако, рассмотрение вопроса оценки эффективности использования локомотивов по выполненному объёму перевозочной работы брутто не является окончательным.

Таким образом, при оценке результатов перевозочной работы локомотивов следует выделять показатели эффективности, учитывающие результаты

выполнения заданного объёма грузопотока в тоннах нетто (Γ , т. нетто/год). Поэтому лишь показатели, которые включают продукцию в ткм нетто и расходы на выполнение заданного грузопотока в т нетто, могут полностью характеризовать эффективность перевозочной работы локомотивов на участках железных дорог.

Приведённые примеры по обоснованию показателей эффективности использования локомотивов при колебаниях объёма перевозочной работы за счёт изменения веса (массы) состава с учётом других проведённых расчётов по выявлению показателей эффективности перевозочной работы локомотивов при различных координатах [3] материально - технической базы Мб и организации работ Ор подтверждают сказанное и позволяют в дальнейшем перейти к выбору наиболее удобных параметров выигрыша.

Список литературы:

1. Абляимов О. С. Экономические показатели эффективности локомотивов в условиях эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10689> (дата обращения: 05.09.2020).
2. Абляимов О. С. Основы управления локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков // Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Ташкент: «Davt», 2012. – 392 с.
3. Абляимов О. С. К методу решения задачи оптимизации перевозочной работы локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2020. № 9 (78). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10675> (дата обращения: 30.08.2020).
4. Бабичков А. М. Тяга поездов и тяговые расчёты [Текст] / А. М. Бабичков, П. А. Гурский, А. П. Новиков // Учебник для студентов ж-д транспорта. – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
5. Правила тяговых расчётов для поездной работы [Текст] / Всесоюзный научно – исследовательский институт железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
6. Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР [Текст]. – М.: Транспорт. 1990. – 160 с.

О КОНТРОЛЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Валиев Мухаммад Шералиевич

канд. техн. наук, доцент, Ташкентский государственный транспортный университет,
 Узбекистан, г. Ташкент
 E-mail: meravaz@gmail.com

Қосимов Хусан Рахматуллаевич

старший преподаватель, Ташкентский государственный транспортный университет
 Узбекистан, г. Ташкент

ABOUT MONITORING THE TEMPERATURE OF DIESEL EXHAUST GASES IN OPERATION

Muhammad Valiyev

Cand. tech. Sciences, Associate Professor, Tashkent State Transport University,
 Uzbekistan, Tashkent

Qosimov Khusan

senior lecturer, Tashkent State Transport University
 Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены результаты исследования достоверности контроля температуры отработавших газов на выходе из цилиндров дизеля в эксплуатации. А также подробно описаны работы термопары установленные на дизеля типа 5Д49.

ABSTRACT

This article presents the results of a study of the reliability of the exhaust gas temperature control at the outlet of the diesel cylinders in operation. And described in detail the operation of the thermocouple installed on diesel-type 5D49.

Ключевые слова: Термокомплекты, позиция контроллера машиниста, цилиндры, горячий спай, холодный спай.

Keywords: Thermocomplete sets, position of the controller of the machinist, cylinders, hot end, cold end.

Температура отработавших газов на выходе из цилиндров дизеля является одним из важнейших диагностических параметров дизеля. Ее значение в каждый момент времени обусловлено действием целого ряда разнообразных факторов, связанных как с техническим состоянием основных агрегатов двигателя, так и с режимом его работы. Обязательный периодический контроль значения этого параметра предусмотрен правилами реостатных испытаний всех серий тепловозов. С целью повышения достоверности оперативного контроля технического состояния дизеля уже на протяжении ряда лет все тепловозные дизели типа Д49 оборудуются термокомплектами, обеспечивающими возможность непрерывного измерения температуры отработавших газов в процессе эксплуатации.

Вместе с тем, как показывает практика, эффективность использования этих термокомплектов весьма невелика. В отдельных случаях с их помощью выявляются отказы топливоподающей аппаратуры, приводящие к полному прекращению подачи топ-

лива в цилиндр, однако для решения актуальной задачи прогнозирования изменения технического состояния двигателя практически не используются.

Одним из возможных способов решения подобной задачи является непрерывный контроль характерных зависимостей, связывающих различные параметры рабочего процесса дизеля, инвариантных по отношению к режиму работы дизеля, но реагирующих на его техническое состояние. Одной из них является зависимость относительного изменения $\overline{\Delta T_{ог}}$ температуры отработавших газов от относительного изменения $\overline{\Delta \alpha}$ коэффициента избытка воздуха в цилиндре дизеля.

В работе [1] показано, что эти величины связаны зависимостью вида:

$$\overline{\Delta T_{ог}} = -b \cdot \overline{\Delta \alpha} \quad (1)$$

где b – коэффициент пропорциональности, определяемый конструкцией и особенностями организации рабочего процесса исправного дизеля.

Увеличение цикловой подачи в цилиндр исправного дизеля приводит к уменьшению коэффициента избытка воздуха и увеличению температуры отработавших газов на выходе из цилиндра в соответствии с зависимостью (1).

В случае нарушения нормального протекания рабочего процесса в цилиндре во время эксплуатации (например, вследствие изменения угла опережения подачи топлива, ухудшения качества смесеобразования вследствие неисправности топливной аппаратуры) качество смесеобразования в цилиндре существенно изменяется, причем это изменение не связано с величиной коэффициента избытка воздуха, вследствие чего величина коэффициента b в формуле (1) изменяется. Это изменение может использоваться в качестве диагностического признака ухудшения технического состояния цилиндра и служить основанием для постановки его на стационарный диагностический контроль [1].

С целью проверки данного вывода выполнен анализ изменения параметров дизелей типа 1А-5Д49 тепловозов серии ТЭП70БС в эксплуатации по данным бортовых систем диагностики.

Величина относительного изменения $\overline{\Delta T}$ температуры ОГ определялась с использованием зависимости:

$$\overline{\Delta T} = \frac{T_{\text{ОГ}} - T_{\text{ОГ(ном)}}}{T_{\text{ОГ(ном)}}} \quad (2)$$

где $T_{\text{ОГ}}$ - текущее значение температуры ОГ, °К;
 $T_{\text{ОГ(ном)}}$ - номинальное (установившееся) значение температуры ОГ на данной позиции контроллера, °К;

Для оценки изменения коэффициента избытка воздуха использовалось выражение [1]:

$$\overline{\Delta \alpha} = \overline{P_K} - \overline{h_p}$$

где $\overline{P_K} = \frac{P_K - P_{K(\text{ном})}}{P_{K(\text{ном})}}$ - относительное изменение

давления наддува;

$\overline{h_p} = \frac{h_p - h_{p(\text{ном})}}{h_{p(\text{ном})}}$ - относительное изменение по-

ложения реек ТНВД;

$P_{K(\text{ном})}$ - номинальное (установившееся) значение давления наддува на данной позиции контроллера, МПа;

$h_{p(\text{ном})}$ - номинальное (заданное) положение реек ТНВД на данной позиции контроллера, ед. кода.

В настоящее время контроль температуры отработавших газов на выходе из цилиндров, а также перед газовой турбиной в каждом из выпускных коллекторов является одной из функций микропроцессорных систем управления и диагностики МСУ-Т [2,

3] и МСУ-ТП [4] тепловозов ТЭП70БС, 2ТЭ116У, поэтому повышение эффективности использования результатов такого контроля является весьма актуальной задачей.

Для измерения температуры отработавших газов в двигателях внутреннего сгорания используются термопары с хромель - алюмелевыми и, реже, хромель - копелевыми термоэлектронными проводниками, помещенными в металлический корпус (рис. 1).

Рисунок 1. Преобразователь термоэлектрический ТХА 1-керамические изоляторы; 2 – хромель; 3 – алюмель; 4- керамика

Величина термоэлектродвижущей силы определяется разностью температуры горячего спая, находящегося в корпусе термопары, и холодного спая, которым является обмотка милливольтметра термокомплекта или согласующий резистор блока температурного измерителя микропроцессорной системы управления и диагностики. Достоверность и точность контроля температуры зависит от соответствия температуры газа и собственно горячего спая, а также от изменения температуры холодного спая.

В установившемся режиме работы двигателя при неизменной среднецикловой температуре отработавших газов на выходе из цилиндров корпус термопары и находящийся внутри него горячий спай успевают прогреться до средней температуры газа, что позволяет обеспечить требуемую точность измерения. Однако условия работы тепловозного дизеля характеризуются частой сменой режимов работы (позиций контроллера машиниста), вследствие чего стационарное тепловое состояние газа и термопары не достигается, что приводит к снижению точности измерения и достоверности получаемых результатов.

На рис. 2 приведена распределение времени работы на позициях контроллера машиниста тепловоза ТЭП70БС.

Рисунок 2. Распределение времени работы на позициях контроллера (общая продолжительность работы ДГУ составила 580 мин).

Анализ его показывает, что основную часть времени дизель работает в ненормальных режимах работы, причем до 56.79% его приходится на режим холостого хода. В этих условиях достоверное измерение температуры отработавших газов весьма затруднено. На рис.3 представлено распределение результатов контроля температуры газов на выходе 1-го правого цилиндра дизеля средствами бортовой микропроцессорной системы автоматического управления и диагностики тепловоза ТЭП70БС на 12-й позиции контроллера, на которое приходится основное время работы дизеля под нагрузкой (рис.2). Как следует из

кривых, результаты измерения практически равномерно распределены в интервале 190... 460°C для 5-й позиции контроллера машиниста и 210...460°C для 7, 210...490°C для 9 и 210...480°C для 12-й позиций, что свидетельствует о практически случайном характере изменения теплового состояния термодар в условиях частого переключения позиций контроллера машиниста. Это практически исключает возможность непрерывного достоверного контроля температуры отработавших газов на выходе из цилиндров. Он возможен только в случае непрерывной работы дизеля на одной позиции в течение 5...10 минут.

Рисунок 3. Распределение результатов непрерывного измерения температуры отработавших газов на выходе из 1-го правого цилиндра на 12-й позиции контроллера.

На рис. 4 представлено распределение результатов контроля температуры газов в той же поездке при непрерывной работе на указанной выше позиции в течение 5 и более минут. В этом случае безусловно обеспечивается высокая достоверность получаемых

результатов, однако продолжительность таких режимов в данном случае не превосходит 23,35% от общего времени работы тепловоза, а в общем случае может быть существенно меньше.

Рисунок 4. Распределение результатов измерения температуры отработавших газов на выходе из 1-го правого цилиндра на 9-й позиции контроллера в стационарном режиме

Распределение значений температуры холодного спая термопары для 12 позиции контроллера машиниста приведено на рис.5.

Рисунок 5. Распределение результатов измерения температуры холодного спая на 12-й позиции контроллера в стационарном режиме

Анализ их показывает, что расположение холодного спая на плате температурного измерителя, который установлен на боковой стенке дизельного помещения тепловоза, позволяет обеспечить ее относительную стабильность. Вместе с тем, учитывая близкий к равномерному характер распределения температуры холодного спая на интервале 19...25°C, даже такое ее изменение может оказывать существенное влияние на результаты оценки технического состояния дизеля с использованием температуры отработавших газов на выходе из цилиндров, поскольку, как

следует из рис. 3...5, ее изменение на 12 позиции контроллера машиниста не превосходит в среднем 50°C.

Таким образом, результаты измерения температуры отработавших газов на выходе из цилиндров дизеля представляют собой случайную величину, характер распределения которой зависит от режимов работы дизеля в эксплуатации. Вероятная величина ошибки измерения возрастает по мере увеличения числа переключения позиций контроллера в единицу времени.

В связи с этим актуальной является задача разработки методов математической обработки результатов измерения температуры термопарами с целью

повышения точности и достоверности результатов измерения.

Список литературы:

1. Грачев В.В., Валиев М.Ш.. Оценка технического состояния тепловозного дизеля по данным бортовой микропроцессорной системы управления // Известия ПГУПС, -2010-Вып.1- с.22-32.
2. Сергеев. С.В., Камышников С.А. Система МСУ-Т магистрального пассажирского тепловоза ТЭП70БС // Труды ВНИКТИ, -2004-№ 83-с.64-76.
3. Федотов М.В., Набатчиков Ю.Н. Бортовая система диагностики тепловоза ТЭП70БС // Труды ВНИКТИ, -2004-№ 83-с.92-96.
4. Федотов М.В. Унифицированная микропроцессорная система управления и диагностики (МСУД) // Труды ВНИКТИ, -2004-№ 83-с.8-10.

Научный журнал

**UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№ 9(78)
Сентябрь 2020

Часть 1

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 – 54434 от 17.06.2013

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, улица Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: mail@7universum.com
www.7universum.com

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»

630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3

16+