АКАДЕМИЯ НАУК СССР

UC-NRLF
$B 95 714

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРАНСПОРТА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1 9 4 9

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Секция по научной разработке проблем транспорта

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРАНСПОРТА

Printed in Soviet Union.

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1949 Ленинград

HE151
.03A4

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
В. В. ЗВОНКОВ

6
Copy

0466K

15 SEP 1950

E

ПОСВЯЩАЕТСЯ ЮБИЛЯРАМ:

Академику
ВЛАДИМИРУ НИКОЛАЕВИЧУ ОБРАЗЦОВУ

Члену-корреспонденту АН СССР
БОРИСУ НИКОЛАЕВИЧУ ВЕДЕНИСОВУ

Доктору технических наук профессору
ВЛАДИМИРУ АЛЕКСАНДРОВИЧУ СОКОВИЧУ

M715530

ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ ОБРАЗЦОВ

(К 75-летию со дня рождения)

Исполнилось 75 лет со дня рождения выдающегося ученого, основоположника науки об эксплоатации железных дорог, заслуженного деятеля науки и техники, дважды лауреата Сталинской премии, генерал-директора движения 1 ранга, депутата Верховного Совета СССР, академика Владимира Николаевича Образцова.

В. Н. Образцов родился 18 июня 1874 года в г. Николаеве, где в 1892 г. он окончил гимназию с золотой медалью. После окончания в 1897 г. Петербургского института путей сообщения В. Н. работал на изысканиях по постройке железных дорог.

Ровно 50 лет назад В. Н. Образцов выступил уже как крупный научный работник по проектированию железнодорожных станций. Его проект переустройства станции Иваново представлял не только производственную ценность, но явился и большой научной работой. Он был напечатан в железнодорожном журнале «Инженерное дело» (издававшемся в Тифлисе под редакцией Г. П. Передерия) и многие годы являлся настольной книгой для инженеров по проектированию станций.

С 1901 г. Владимир Николаевич Образцов начинает педагогическую деятельность — становится преподавателем в Московском инженерном училище (ныне Московском ордена Ленина институте инженеров железнодорожного транспорта имени И. В. Сталина), в котором он продолжает работать и до сих пор, заведуя кафедрой «Станции и узлы».

Талантливый лектор и энциклопедист, В. Н. Образцов читает лекции в Высшем техническом училище, Нижегородском политехническом институте, на Женских строительных курсах, преобразованных в Московский институт гражданских инженеров, в Московском практическом строительном институте (ныне Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева), где он был много лет директором.

В 1905 г. В. Н. принимает участие в политических событиях. Когда на Ярославской железной дороге стало известно, что в Кушке местный генерал-губернатор приговорил к повешению одного служащего дороги, В. Н. выступал организатором и инициатором собрания железнодорожников, которое послало протест министру внутренних дел с угрозой забастовки и вооруженного восстания и требовало отмены этого чудовищного приговора.

Вскоре начались массовые аресты. Владимиру Николаевичу удалось скрыться от ареста, но впоследствии его все же уволили с отметкой в послужном списке: «Увольняется с 5 декабря 1905 года».

С первых дней Великой Октябрьской социалистической революции В. Н. Образцов отдает свои знания и опыт рабочему классу: он был избран в Комитет из рабочих и служащих, который заменил старое руководство Западной дороги. По инициативе В. Н. Образцова Комитет занялся организацией самостоятельных заготовок топлива. Для этого была построена Дуровская железнодорожная ветка, предназначенная для вывозки дров и торфа.

Талантливый педагог, В. Н. Образцов явился одним из инициаторов организации рабочих факультетов при высших учебных заведениях. Он выступает против реакционной профессуры, которая вела нападки на рабочие факультеты.

В. Н. Образцов заведывал рабфаком при Межевом институте им. М. И. Калинина.

В. Н. Образцов не только ученый и педагог, но и крупный инженер, вследствие чего его привлекают на наиболее ответственные работы, которые проводит молодая советская республика. В первые годы советской власти Владимир Николаевич создает проект реконструкции Московского железнодорожного узла, проект глубокого ввода. Им составлены проекты по переустройству и объединению узлов Смоленского, Горьковского, Саратовского, Ленинградского, Запорожья, Донбасса, Кузбасса и др.

Наряду с этим Владимир Николаевич работает консультантом управления по сооружению железных дорог (1919—1921 гг.), членом комиссии по объединению узлов при Главной инспекции НКПС (1923—1924 гг.), членом Комитета НКПС по реконструкции (1919—1933 гг.), членом Технического совета Днепростроя (1927—1930 гг.), консультантом Гипрогора (1932—1934 гг.), членом Научно-технического совета при НКПС (с 1935 г. по настоящее время), начальником Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

Академик
ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ ОБРАЗЦОВ

(1935—1940 гг.), членом Экспертного совета НКПС (1940—1943 гг.), Председателем Секции по научной разработке проблем транспорта Академии Наук СССР, членом Президиума Академии Наук СССР.

Наряду с большой педагогической и производственной деятельностью В. Н. Образцов с первых дней своей научной работы выступает в печати как ученый с прогрессивными идеями преобразования железнодорожного транспорта России. Его ранние работы «Теоретические исследования по обороту вагонов», «Геометрические элементы для расчета стрелочных улиц и переводов при проектировании станций», «К вопросу проектирования станций и их расчет» стали основными руководствами для инженеров при проектировании станций и принесли В. Н. Образцову широкую известность. Последние работы В. Н. Образцова опередили зарубежную техническую мысль в области проектирования станций на десятки лет. Его труды оригинальны и касаются разнообразных отраслей транспортных наук и прикладных знаний, как, например: «Проект распределения узлов на русской железнодорожной сети и сортировочной работы узлов с целью сокращения маневровой работы и простоя вагонов», «Станции и их принадлежности», «К вопросу о тяговых расчетах сортировочных горок», «Тоннельные путепроводы при проектировании узлов и станций», «Объединенное железнодорожное хозяйство в теории и на практике», «Зимний транспорт и его возможные перспективы», «К вопросу о массовом транспорте из Донбасса», «Основные данные для проектирования железнодорожных станций», «Железные дороги горные», «К вопросу о глубоких вводах», «Основные данные для проектирования железнодорожных станций», курс «Станции и узлы» (I и II томы) и др.

Труды В. Н. Образцова отличаются тем, что в них по-новому ставятся и разрешаются вопросы работы железнодорожного транспорта с учетом развития автомобильного, воздушного, городского и промышленного транспорта.

Метод комплексного разрешения транспортных проблем Владимир Николаевич переносит на проектирование и планировку городов и жилищное строительство. В этот период он создает следующие труды: «Железная дорога в городе», «Транспорт и планировка городов», «Транспортная планировка жилого квартала», «Внутригородской транспорт и планировка городов» и др.

В. Н. Образцов принимает непосредственное участие в разработке транспорта при реконструкции и планировке городов (Москвы, Сталинграда, Магнитогорска, Свердловска, Баку,

Ростова н/Дону, Ташкента, Сочи), в районной планировке берега Крыма, Черноморского побережья, района Минеральных Вод и др.

В годы сталинских пятилеток В. Н. Образцов создает труды по промышленному транспорту и его проектированию в увязке с технологическим процессом промышленных предприятий («Железные дороги однорельсовые», «Специальные дороги», «Наземные канатные дороги (реверсивные)» и др.).

Когда встал вопрос о необходимости объединить всю научную работу на железнодорожном транспорте в одном институте, начальником института был назначен В. Н. Образцов. На этом посту Владимир Николаевич ведет большую работу по перестройке всей научной работы на железнодорожном транспорте и активно участвует в борьбе с контрреволюционной «теорией» предела.

Во время Великой Отечественной войны идеи гармонического сочетания работы различных видов транспорта, координации их работы нашли свое развитие в выполненных В. Н. работах «Единая транспортная сеть СССР», «Комплексная теория транспорта», «Некоторые основные вопросы энергетики локомотива», «Единый технологический процесс работы подъездных путей».

В результате работы В. Н. над вопросом организации работы железных дорог в военных условиях и по мобилизации ресурсов для войны появились труды: «Железнодорожный транспорт в дни Великой Отечественной войны», «Усиление пропускной и провозной способности однопутных линий», «Некоторые вопросы восстановления и дальнейшего развития транспорта», «Социалистический транспорт и его перспективы» и др.

Пламенный патриот своей Родины, В. Н. работает на Урале, в комиссии по мобилизации ресурсов на нужды войны, организует технологические процессы работы железнодорожного и промышленного транспорта на заводах Свердловска, Нижнего Тагила и в других городах.

Он выступает с десятками докладов в частях Советской Армии, в госпиталях, на заводах, в вузах, в колхозах, на комсомольских и пионерских собраниях, по радио, на научных конференциях. За время войны В. Н. прочитал более 100 докладов.

На собственные средства во время войны Владимир Николаевич купил боевой самолет, вручив его летчику-истребителю Филиппу Ивановичу Лавренову, который уничтожил на нем свыше десяти фашистских самолетов.

В послевоенную сталинскую пятилетку В. Н. создает со своими учениками новую дисциплину для железнодорожных

втузов, выпустив курс «Водный, воздушный, автодорожный и промышленный транспорт».

За 50 лет научной деятельности В. Н. Образцов создал около 300 научных трудов.

Крупнейшие заслуги В. Н. Образцова как ученого, педагога и инженера-новатора послужили основанием к избранию его в 1939 г. действительным членом Академии Наук Союза ССР, в которой он возглавляет Секцию по научной разработке проблем транспорта, является заместителем председателя Совета по научно-технической пропаганде и директором Филиала Коми АССР Академии Наук СССР.

В результате научно-педагогической и производственной деятельности, на широкой основе координации работы всех видов транспорта, В. Н. Образцов создал научную школу «Станции и узлы». Он воспитал тысячи инженеров; под его руководством защитили диссертации на ученую степень доктора технических наук шесть человек, сдали диссертации на защиту три человека и защитили на ученую степень кандидата технических наук 20 человек.

В 1934 г. В. Н. избирается депутатом Московского Совета, в 1935 г. — членом ВЦИКа 16-го созыва. В 1937 г. советский народ оказал величайшее доверие Владимиру Николаевичу, избрав его депутатом Верховного Совета СССР. На этом посту В. Н. трудится бессменно до настоящего времени, выполняя указание товарища Сталина — быть слугою своего народа.

Выдающиеся заслуги академика В. Н. Образцова в науке и технике высоко оценены Правительством — он награжден многими орденами Советского Союза.

Кандидат технических наук
Ф. И. Шаульский

БОРИС НИКОЛАЕВИЧ ВЕДЕНИСОВ

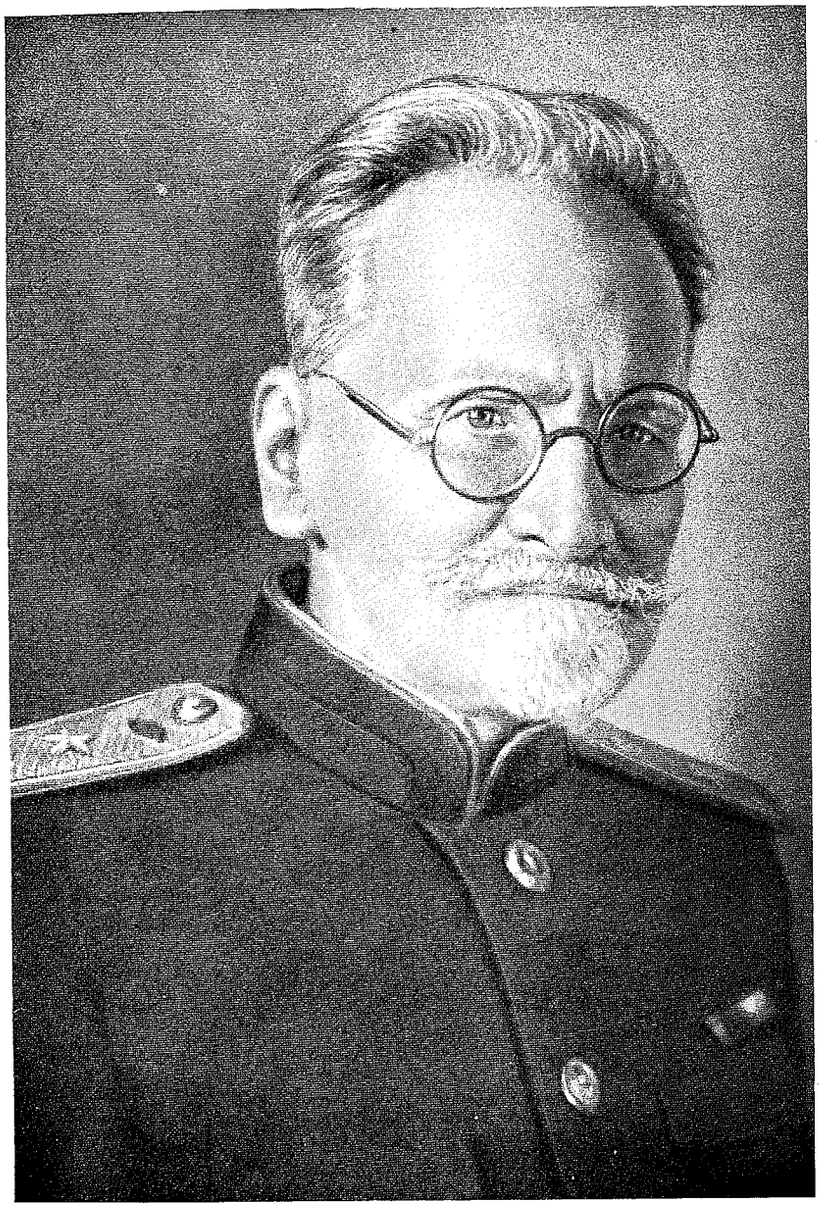
(К 80-летию со дня рождения)

24 июля 1949 года исполнилось 80 лет со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники, лауреата Сталинской премии, генерал-директора пути и строительства 2 ранга, члена-корреспондента Академии Наук СССР Бориса Николаевича Веденисова.

Глубокий проницательный ум и упорство в достижении поставленной цели отличают талантливого инженера и ученого нашей страны. Несмотря на трудности, обусловленные потерей слуха в детском возрасте, Б. Н. успешно учился и в 1891 г. окончил Московский университет по физико-математическому факультету с дипломом 1-й степени. В 1897 г. он поступает для получения технического образования в Московское инженерное училище ведомства путей сообщения. Будучи студентом, Б. Н. работает техником на изысканиях железной дороги Рязань — Елатьма.

По окончании Инженерного училища (1900 г.) Б. Н. работает на строительстве Виндавского порта, сочетая эту работу с работой наблюдателя метеорологической станции (2-го разряда) Главной физической обсерватории. К этому периоду относится и первая научная работа Б. Н. Веденисова «Постройка Виндавского порта».

В 1902 г. Б. Н. поступает на Московско-Казанскую железную дорогу, где последовательно проходит должности: производителя работ, помощника начальника дистанции службы пути (Пенза и Саранск), начальника отдела службы пути (Ульяновск и Алатырь), начальника пути, заместителя и и. о. управляющего Московско-Казанской железной дороги (Горький и Москва). Б. Н. умело сочетал опыт изыскателя, проектировщика, строителя и эксплоатационника. Он самостоятельно производил изыскания, проектировал, строил, а затем эксплоатировал новые железнодорожные линии, посты, путепроводы,



Член-корреспондент Академии Наук СССР
БОРИС НИКОЛАЕВИЧ ВЕДЕНИСОВ

тоннели, трубы, здания, гидротехнические сооружения водоснабжения, шпалопропиточные заводы и другие сооружения железнодорожного транспорта.

Более поздние инженерные работы Б. Н., например: укрепление Окского косогора, подхода к г. Горькому, укрепление Ульяновского косогора, отличаются широтой технической мысли, оригинальностью и смелостью решения.

В 1918 г. Б. Н. Веденисова, как выдающегося инженера и ученого, приглашают в Научно-экспериментальный институт НКПС на должность начальника отдела пути. Главнейшие работы Б. Н. в этот период его деятельности характеризуются актуальностью и глубиной разрешения поставленных задач («О переходных кривых», «Характеристика и разбивка рельсовых ниток переходных кривых» и др.).

В годы сталинских пятилеток, когда быстро развивается строительство новых железных дорог, Б. Н. создает новые научные труды: «Исследование о проведении дорог между отдаленными пунктами», «Устройство железнодорожного пути и способы его лечения», «Земляное полотно железных дорог», «Уменьшение расхода энергии при сооружении земляного полотна», «Некоторые вопросы проектирования и содержания земляного полотна в ориентации по странам света», «Исследование о длине переходных кривых при больших скоростях движения», «О мощности рельсового пути на электрифицированных участках железных дорог», «Перспективная сеть железных дорог СССР» и др.

В 1920 г. Б. Н. Веденисов начал педагогическую работу в Московском высшем техническом училище, где проявил себя как талантливый педагог. В 1921 г. его приглашают в Московский институт инженеров железнодорожного транспорта, где он бессменно заведует кафедрой «Общий курс железных дорог». В том же 1921 г. Б. Н. был избран экстраординарным профессором Иваново-Вознесенского политехнического института.

Б. Н. преподавал и в других высших технических учебных заведениях — в Московском политехническом институте, Московском институте гражданских инженеров, на Высших технических инженерных курсах НКПС, где он читал курс железных дорог, изыскание и проектирование железных дорог, общий курс железных дорог, строительную механику, теорию упругости и высшую математику, которой он всегда придавал большое значение, увязывая ее с практическими вопросами техники.

Наряду с работой во втузах, Б. Н. работал в Метропроекте, Союзтранспроекте, Мостранспроекте и других учреждениях.

В годы Великой Отечественной войны консультации Б. Н. касались основных вопросов восстановления железных дорог.

Широко известна общественно-политическая деятельность Б. Н. Веденисова. За участие в революционном движении 1905 г. он был арестован и содержался в царской тюрьме в одиночном заключении.

В настоящее время Б. Н. является членом Высшей аттестационной комиссии Министерства высшего образования, председателем Экспертной комиссии, членом Комитета по Сталинским премиям в области науки и изобретательства, членом Научно-технического совета МПС, членом Совета по инженерно-строительным наукам Академии архитектуры СССР.

Выдающиеся заслуги Б. Н. как ученого и инженера послужили основанием к избранию его в 1943 г. членом-корреспондентом Академии Наук СССР.

В Секции по научной разработке проблем транспорта Академии Наук СССР, где Б. Н. работает с 1943 г., он в настоящее время ведет разработку актуальной народнохозяйственной проблемы «Повышение скорости движения, весов составов, мощности и эффективности тяговых средств».

В 1943 г. Борис Николаевич удостоен звания лауреата Сталинской премии.

Глубокий патриот своей Родины, строгий и требовательный исследователь, принципиальный ученый и отзывчивый сердечный товарищ, Б. Н. заслуженно пользуется любовью студентов, сотрудников и всех, кто с ним соприкасается по его столь многогранной работе.

Кандидат технических наук
Ф. И. Шаульский

ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ СОКОВИЧ

(К 75-летию со дня рождения)

Исполнилось 75 лет со дня рождения одного из основоположников науки об эксплоатации железных дорог — заслуженного деятеля науки и техники, лауреата Сталинской премии, генерал-директора движения 3 ранга, доктора технических наук, профессора Владимира Александровича Соковича.

В. А. родился 14 июня 1874 г. в г. Кременчуге бывш. Полтавской губернии; среднее образование получил в Киевской гимназии, а в 1902 г. окончил Петербургский институт инженеров путей сообщения с дипломом 1-й степени.

После окончания института В. А. работает на изысканиях линии Красноуфимск — Курган и производителем работ на постройке Окской железнодорожной ветки.

В этот период передовая талантливая часть инженеров-путейцев начинает интересоваться мало изученной отраслью железнодорожной деятельности, т. е. организацией движения поездов. На Екатерининской железной дороге в то время научными вопросами организации движения занимаются талантливые инженеры Филоненко, Воскресенский, Щегловитов, в Москве — Образцов, Фролов и др., которые и явились основоположниками эксплоатационной науки. Почетное место в этой плеяде патриотов, работавших над созданием впервые в мире науки об эксплоатации железных дорог, занимает В. А. Сокович.

С 1904 г. всю свою практическую, научную и педагогическую деятельность В. А. посвятил эксплоатации железных дорог. Начав работу с весовщика, конторщика, товарного кассира, помощника начальника станции, ревизора движения, начальника отделения службы движения, В. А. уже в 1912 г. является начальником службы движения Екатерининской железной дороги — одной из крупнейших на сети.

Последующая работа В. А. посвящена кипучей деятельности по восстановлению и налаживанию работы железных дорог

советской республики. С 1918—1919 гг. он работает управляющим Юго-Восточной железной дороги, с 1920 г.— Владикавказской и в 1922 г.— начальником Пермской железной дороги. С этой работой он сочетает педагогическую деятельность: начиная с 1908 г. читает лекции в различных учебных заведениях.

В. А. не только крупный инженер, педагог, но и крупный научный работник. Еще в 1921 г. он блестяще защитил свою диссертационную работу на тему: «Вагонное и паровозное хозяйство», за что ему присвоено ученое звание профессора.

Используя большой практический опыт, не порывая тесной связи с производством, профессор В. А. Сокович постоянно обобщает, совершенствует и развивает науку об эксплоатации железных дорог. Своими глубокими научными исследованиями в данной области — по использованию резервов на железнодорожном транспорте, ускорению оборота локомотивов и вагонов, доставке грузов В. А. обогатил весьма важными и ценными работами сравнительно новую и молодую отрасль знаний — науку об эксплоатации железных дорог.

Перу В. А. принадлежат многие непревзойденные до настоящего времени научные работы. К ним относятся: «Формирование комбинированных составов» (1912 г.), в которой впервые излагается теория и специализация формирования поездов; «Вагонное и паровозное хозяйство» (1923 г.) — глубокие теоретические исследования по лучшему использованию локомотивов и вагонов; эта работа выдержала ряд изданий и удостоена первой премии Академического центра Наркомпроса РСФСР; «Вопросы планирования железнодорожных перевозок» (1939 г.), «Организация движения на железнодорожном транспорте» (1940 г.) и другие, являющиеся фундаментальным вкладом в транспортную науку, способствующую развитию социалистического транспорта нашей Родины.

Капитальный труд, курс «Организация движения на железнодорожном транспорте», изданный в двух томах в 1940 г., в котором подробно и научно излагается роль железнодорожного транспорта в обороне, является основным учебником, утвержденным для железнодорожных высших учебных заведений, а также настольной книгой инженеров и студентов.

На трудах В. А. Соковича воспитывались тысячи инженеров и техников-эксплоатационников. Он является одним из организаторов эксплоатационных факультетов в транспортных высших учебных заведениях. Профессор В. А. Сокович принял деятельное участие в создании первого эксплоатационного факультета в СССР и был первым его деканом и заведующим кафедрой «Эксплоатация железных дорог» в Московском

Заслуженный деятель науки и техники
профессор ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ СОКОВИЧ

институте инженеров железнодорожного транспорта имени И. В. Сталина.

Многое сделал В. А. Сокович в создании и укреплении работы кафедр «Эксплоатация железных дорог» в Тбилисском институте инженеров железнодорожного транспорта, Военно-транспортной академии Советской Армии и в других учебных заведениях.

Под непосредственным руководством Владимира Александровича выпущены из транспортных вузов сотни инженеров-эксплоатационников, с успехом работающих на транспорте.

Наряду с большой научной, педагогической и производственной деятельностью В. А. Соковича известна его широкая плодотворная работа по подготовке научных кадров.

Выдающиеся заслуги профессора В. А. Соковича перед наукой и Советской Родиной высоко оценены Правительством: он награжден орденом Ленина, удостоен Сталинской премии.

Министерством путей сообщения В. А. награжден значком «Почетному Железнодорожнику» и «Ударнику Сталинского Призыва».

Кандидат технических наук

И. З. Романов

Академик В. Н. Образцов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТА

Исходные положения

Отличительными чертами советской транспортной науки являются ее комплексность и научное единство. Мы понимаем науку о транспорте как единое целое, как науку, объединяющую вопросы техники, экономики и организации транспорта, как науку, в которой отдельные виды транспорта отличаются лишь параметрами.

Советская транспортная наука вскрывает взаимосвязи и закономерности развития не только внутри отдельных видов транспорта, но и выявляет общие законы для всех видов транспорта, как составной части единого социалистического хозяйства.

В капиталистических странах невозможно решение таких проблем, как единая транспортная сеть, классификация и типизация путей сообщения, и многих других. Капиталистический строй, обусловливающий бесплановое развитие и бесплановую работу транспорта, не позволяет буржуазным исследователям подняться выше решения технических вопросов, применительно к запросам капиталистических монополий.

Принцип комплексности исследования, последовательно проводимый в СССР, представляет собой выражение одной из основных черт марксистского диалектического метода, рассматривающего явления в их органической связи друг с другом, во взаимной зависимости и обусловленности.

Одним из технических вопросов, общим для различных видов транспорта, является его пропускная способность. До последнего времени вопросы пропускной способности для каждого вида транспорта рассматривались самостоятельно. Настоящая работа представляет собой опыт обобщения основных понятий,

характеризующих пропускную способность для всех видов транспорта.

Требование увеличить скорость движения, появление новых видов транспорта (автотранспорт, авиация), применение новых средств связи и управления движением (радио, радиолокация, автоматика, телемеханика) часто изменяют применявшиеся ранее установки и методы расчета.

Для развития бóльших скоростей требуется или увеличивать тормозные расстояния, или, что рациональнее, применять более мощные тормозные средства, при которых можно увеличить скорость как движения, так и торможения. Громадное преимущество в этом отношении дает безостановочный пропуск поездов через станции, что вполне возможно при новейших средствах связи и СЦБ. Применение диспетчерского управления значительно ускоряет движение и оборот подвижного состава. При передаче короткопробежных грузов на автотранспорт сокращается потребность в сборных поездах. Наконец, необходимо отметить, что в результате увеличения скоростей изменяются соотношения между расчетными сопротивлениями движению. Если при скорости 30 км/час сопротивление от торможения, инерции и среды составляло в общем около 18% по отношению к суммарной работе сил сопротивления в товарном железнодорожном движении, то при скорости в 80 км/час оно достигает уже 59% (по расчетам А. В. Комарова).

Особое значение для железных дорог имеет быстрое развитие электрической и тепловозной тяги. Для обоих этих видов транспорта характерны, в отличие от паровой тяги, увеличение скорости движения, большое ускорение, отсутствие набора воды и топлива в пути, а следовательно, и меньшая потребность в простоях, допущение большей длины тяговых плеч, отказ от поворота локомотивов, наконец, легкая возможность секционировать локомотивы и соединять их по две-три единицы без потери общего коэффициента полезного действия и необходимости в дополнительных локомотивных бригадах (в противоположность паровозам). Наконец, оба эти вида транспорта легче поддаются автоматизации управления, являющейся, по существу, высшей формой организации транспорта.

В отношении будущего использования транспорта выдвигается идея создания резервов пропускной способности, для чего в свою очередь требуется создать такие методы организации движения, которые позволили бы сделать пропускную способность максимально гибкой и способной быстро возрастать при помощи простейших мероприятий.

В данной статье мы рассматриваем пропускную способность только сухопутного транспорта, хотя несомненно многие из положений теории транспорта с некоторыми поправками в параметрах могут быть применены также и для водного транспорта.

Задачи повышения пропускной способности и скорости движения неразрывно между собой связаны. Необходимо стремиться к таким экономически оправданным методам усиления пропускной способности, которые, обеспечивая заданные размеры перевозок, позволяли бы в то же время осуществлять безостановочное движение («зеленую улицу», «зеленую волну») при достаточно высокой скорости.[1]

Новая техника предопределяет появление новых методов усиления пропускной способности. Например, с переводом однопутного железнодорожного участка на электротягу практически часто отпадает потребность в открытии разъездов (издавна считавшихся первым средством развития однопутной линии). Зато возникает другая, совершенно новая задача — свести к минимуму потери времени при скрещении поездов, так как каждые лишние 5—10 мин. стоянки вследствие высокой ходовой скорости существенно понижают коэффициент скорости.

Задачи повышения пропускной способности и участковой скорости (тесная связь обеих задач очевидна) могут быть решены организацией безостановочных скрещений. Очевидно также, что электрическая тяга несовместима с устаревшими средствами поездной связи, вроде телеграфа или телефона. Таким образом, устройства, необходимые для достижения определенного уровня пропускной способности, должны быть связаны в единый типовой комплекс.

Строительство, восстановление и реконструкция наших городов и поселков все острее ставят вопросы правильного проектирования путей сообщения, как между отдельными городами и поселками, так и внутри их. Однако на автомобильном транспорте нет еще законченной методики расчета пропускной способности.

В речном транспорте пропускная способность обычно определяется пропускной способностью шлюзовых камер и каналов, а в отношении лесных плотов — возможностью пропуска их в стесненных участках реки; в отдельных случаях речь идет о пропускной способности пристанских устройств, набережных и других сооружений. Так как это вместе с тем связано с размерами и типами портового оборудования, то здесь принято говорить не о пропускной способности, а о производительности склада, механизированного оборудования и т. п.

[1] О «зеленой волне» см. далее, стр. 51.

Для комплексного изучения данного вопроса требуется применить новые принципы расчета пропускной способности с учетом особенностей отдельных видов транспорта и вместе с тем установить общие элементы и общие законы таких расчетов.

Общее определение пропускной способности

Понятие пропускной способности применяется в различных видах транспорта, но в него вкладывается не всегда одинаковое содержание. Прежде всего требуется установить общее его определение.

Понятие пропускной способности стало применяться в 70-х годах прошлого столетия на железнодорожном транспорте в связи с необходимостью обеспечить воинские перевозки, и только впоследствии оно было применено к движению поездов мирного времени.

Задание по пропускной способности давалось, как обязательное, при постройке каждой дороги в максимальном объеме или с повышением по этапам. В зависимости от пропускной способности определялось распределение остановочных пунктов, размеры станций и разъездов, размещение станций с депо, водокачки и их оборудование, т. е. все постоянные устройства, выполнение которых требовалось для приемки дороги в эксплоатацию.

Для движения требуется иметь соответствующее количество подвижного состава. В капиталистическом хозяйстве подвижной состав имеется у каждой дороги в определенном количестве, и от этого количества зависит возможность выполнения ею перевозки в объеме пропускной способности. Имеющееся количество подвижного состава может лимитировать пропускную способность дороги. В социалистическом хозяйстве пропускная способность железнодорожного транспорта определяется общим количеством подвижного состава и его рациональным использованием отдельными дорогами. То количество перевозок, которое определяется наличием подвижного состава, получило наименование «провозной способности дороги».

Первое крупное теоретическое исследование графика движения поездов и пропускной способности было выполнено в России в 1909 г. В. Н. Щегловитовым (см. его книгу «Теория графика движения поездов в связи с вопросом о составах»).

В этой работе, однако, отражены недостатки транспорта царской России, в частности, автор исходит из так называемого «участкового» движения поездов, движения между двумя участковыми станциями.

В советский период теория графика и пропускной способности железнодорожных линий была разработана в трудах НИИЖТ и Академии Наук СССР (В. Н. Образцов, В. А. Сокович, Б. М. Максимович, Д. П. Заглядимов, А. П. Петров и др.), И. И. Васильева, А. Н. Фролова, Б. Э. Пейсахзона, В. В. Гранквиста и др. За границей разработка теории этого вопроса представлена несравнимо слабее.

Иногда под пропускной способностью подразумевают число поездов (или пар поездов), которое можно пропустить по железнодорожной линии в единицу времени, а под провозной способностью — соответствующее количество тонн груза или пассажиров.

Так как пропускная способность в поездах рассчитывается при заданной технической вооруженности, в том числе и при заданном типе подвижного состава, то исчисление ее в вагонах или тоннах не изменяет функциональной зависимости и является лишь иным измерением той же самой величины. Поезд содержит определенное (в среднем) количество вагонов, а каждый вагон связан с количеством тонн определенной средней нагрузки вагона. Поэтому мощность, зависящая от технической вооруженности железной дороги, должна определяться одним основным термином: пропускная способность.

Провозной способностью, имеющей те же измерения, следует называть мощность железнодорожной линии, зависящую от наличия переменных средств. Она может по величине не совпадать с пропускной способностью.

Понятие провозной способности на социалистическом транспорте коренным образом отличается от содержания того же термина в условиях капиталистического хозяйства. В советских условиях планового хозяйства, при наличии единой государственной транспортной сети, переменные средства транспорта используются значительно лучше, подвергаясь оперативному регулированию в зависимости от потребных перевозок в том или ином районе сети.

В автомобильном транспорте вопрос пропускной способности впервые возник с быстрым возрастанием автомобильного движения в 20-х годах нашего столетия и в связи с уточнением размеров возможного уличного и шоссейного движения. Пропускная способность здесь определяется как наибольшее количество экипажей, которое может пройти в час по данной дороге.

Понятия провозной способности в указанном выше смысле на автодорожном транспорте не существует. Между тем, его важно установить потому, что наличие достаточно приспособленных автодорог еще не определяет возможности выполнения определенного количества перевозок.

Таким образом, приходим к следующим определениям применительно к сухопутному транспорту:

Пропускной способностью железнодорожной или автомобильной линии называется наибольшее число поездов или экипажей установленного веса, которое может быть пропущено по данной линии в течение определенного периода при заданных: постоянных средствах (план, профиль пути, сооружения), типе подвижного состава и данной системе организации движения (типе графика).

Пропускная способность определяет перевозочную мощность линии и может быть выражена также числом экипажей, вагонов или тонн груза, а для линий, обслуживающих пассажирское движение, — количеством пассажиров.

Провозной способностью называется наибольшее число поездов или экипажей установленного веса, которое может быть пропущено в течение определенного периода при заданных постоянных средствах, типе подвижного состава и данной системе организации движения (типе графика) *в зависимости от наличия переменных средств* (локомотивов, вагонов, автомашин, топлива, электроэнергии и т. п.) *и обеспеченности кадрами.* Провозная способность так же, как и пропускная способность, выражается числом вагонов, тонн груза и количеством пассажиров.

В качестве общего понятия я предлагаю следующее определение пропускной способности: *пропускной способностью называется размер потока, который может быть пропущен по определенному каналу в определенный период времени.* Канал может быть трубопроводом, электропроводом, открытым водным каналом, транспортером, или, наконец, определенной полосой движения (шоссейная полоса, один или два пути и т. д.).

Транспортные потоки

Транспортный поток может быть сплошным или раздельным, состоящим из отдельных элементов, разделенных между собой некоторым промежутком (поезда, автомобили, пешеходы, суда и т. д.). Задача изучения пропускной способности — определить количество и размеры каналов (или полос), потребных для пропуска определенного заданного потока, меры для усиления

пропуска потока или резервы, имеющиеся в наличной транспортной сети, и возможность их использования. Пропускная способность измеряется весовым количеством перевозимого груза — в тоннах, литрах или числом пассажиров, а при раздельном потоке — количеством определенного типа единиц (поездов, автомобилей, трамвайных поездов, тележек и т. д.), провозимых в определенный период времени (в секунду, в час, в сутки).

Если при сплошном потоке вес передвигаемой массы груза в период времени T обозначить через Q, вес на 1 пог. м длины — через q, а скорость передвижения — через v м/сек, то пропускная способность в течение периода T будет равна

$$Q = Tqv. \tag{1}$$

Эта формула определяет пропускную способность всякого непрерывного потока. Сюда относятся трубопроводы водяные, нефтяные и т. д., газовые и сплошные конвейерные (транспортерные) потоки.

Раздельный поток отличается от сплошного тем, что определенные движущиеся единицы (тележки, экипажи, поезда и т. д.) длиной l передвигаются друг за другом на определенном расстоянии l_1, вызываемом условиями безопасности, торможения и т. п. За период времени T при скорости движения v количество таких единиц N определится по формуле:

$$N = \frac{Tv}{l + l_1}. \tag{2}$$

Объем передвигаемого потока составит:

$$Q_{\text{разд}} = \frac{Tvlq}{l + l_1}. \tag{3}$$

При $l_1 = 0$ поток превращается в сплошной и

$$Q = \frac{Tvlq}{l} = Tvq,$$

т. е. формула (3) превращается в формулу (1) — сплошного потока, что указывает на общность формулы (3) для всех случаев потока.

Размеры пропускной способности отдельных видов транспорта, конечно, различны. Необходимо указать, что сплошной поток в трубах может быть особенно большим при больших напорах и большом сечении труб.

В качестве примера пропускной способности непрерывного потока можно привести выходные трубы турбин гидроэлектрической станции. Мощность одной станции в 558 000 л. с. определялась девятью турбинами по 100 000 л. с. при напоре 37.5 м. Средний годовой поток составлял 587 м³/сек. Таким образом, на каждую выходную трубу приходилось 65.3 м³/сек, т. е. 65.3 т/сек, или 285 тыс. т/час. При поезде весом даже в 4500 т было бы необходимо для этого иметь 52 поезда в час.

Такие мощные пропускные способности, однако, действуют на коротких расстояниях, так как сопротивление при высоком давлении сильно увеличивается и требуется применять трубы большего диаметра или, наоборот, увеличивать число потоков. Так, например, крупные нефтепроводы пропускают до 4 млн. т нефти в год, т. е. всего 465 т. в час.

Еще меньше дают конвейерные передачи груза, которые обычно при небольшой скорости (порядка 15 км/час) пропускают до 200—300 т/час. В то же время раздельные железнодорожные потоки с загрузкой поезда в 2000 т нетто могут дать в час до 12 000 т по одной линии в одном направлении.

Раздельный транспортный поток

Мы указали, что при раздельном потоке можно различать два вида формул:

1) формулу (3), по которой пропускная способность выражается в измерениях веса (тонны) или объема перевозки (количество пассажиров), и

2) формулу (2), выражающую пропускную способность в количестве движущихся единиц.

Ясно, что формула (2) может быть переведена в формулу (3) путем умножения на ql, т. е. на вес движущейся единицы нетто. Но обычно считается более простым и удобным изучать формулу (2) и выражать пропускную способность количеством поездов или экипажей, подразумевая при этом, конечно, определенный тип и вес последних.

В формуле (2) при более детальном рассмотрении минимальная величина l_1 разделяется на $l_1 = l_т + l_р$, где $l_т$ — длина тормозного пути, потребного для остановки движущегося экипажа в случае наличия препятствия, выражающаяся через $l_т = \frac{v^2}{2p}$ (где v — скорость в м/сек, p — ускорение торможения, возможное для данного экипажа) и $l_р$ — расстояние, проходимое в период, пока машинист (водитель) осознает

необходимость торможения, приведет тормоза в действие и они начнут работать. При этих условиях формула (2) принимает вид:

$$N = \frac{T\upsilon}{l + l_p + \frac{\upsilon^2}{2p}} \tag{4}$$

или

$$N = \frac{T}{\frac{l}{\upsilon} + \frac{l_p}{\upsilon} + \frac{\upsilon}{2p}}. \tag{5}$$

Величина $\frac{l_p}{\upsilon}$ для данного вида экипажа или поезда обычно постоянна: $\frac{l_p}{\upsilon} = t_p$ (времени так называемой «реакции» водителя). Тогда формула принимает следующий вид:

$$N = \frac{T}{\frac{l}{\upsilon} + t_p + \frac{\upsilon}{2p}}. \tag{6}$$

В литературе приводится ряд формул, в которых даются различные величины l_1, l_p и $\frac{1}{2p}$, вследствие чего формула (4) приобретает общий вид:

$$N = \frac{T\upsilon}{a + bc + c\upsilon^2}. \tag{7}$$

По формуле (6), если учесть, что $t_p = \frac{l_p}{\upsilon}$, получается два значения $N = 0$; 1) при $\upsilon = 0$

$$N = \frac{T}{\infty + \infty + 0} = 0;$$

2) при $\upsilon = \infty$

$$N = \frac{T}{0 + 0 + \infty} = 0.$$

Формула имеет определенный максимум, который находится путем дифференцирования знаменателя формулы по υ и приравнивания первой производной нулю:

$$\frac{d[f(\upsilon)]}{d\upsilon} = -\frac{l}{\upsilon^2} + \frac{1}{2p} = 0$$

или

$$l = \frac{\upsilon^2}{2p},$$

откуда

$$N_{max} = \frac{T\upsilon}{l + t_p\upsilon + \frac{\upsilon^2}{2p}} = \frac{T\upsilon}{2l + t_p\upsilon}. \tag{8}$$

Легко видеть, что и по общей формуле (7) получается аналогичный максимум, а именно: при $N = \frac{T}{\frac{a}{\upsilon} + b + c\upsilon}$ и первой производной знаменателя по υ, равной $-\frac{a}{\upsilon^2} + c = 0$, имеем:

$$a = c\upsilon^2.$$

Тогда

$$N_{max} = \frac{T\upsilon}{2a + b\upsilon}.$$

Из формулы (8) видно, что чем больше l, тем меньше должно быть N_{max}, но, с другой стороны, тем больше и та скорость, при которой достигается N_{max}, так как $l = \frac{\upsilon^2}{2p}$.

Ясно также, что с увеличением p, т. е. тормозного ускорения, величина N также возрастает.

На размеры пропускной способности, выраженной в количестве единиц, влияют, таким образом, l, t_p и p.[1]

Если, однако, выражать пропускную способность не в количестве единиц, а в виде общего объема перевозки в тоннах или в числе пассажиров, то максимум пропускной способности выразится так:

$$N_{max}ql = \frac{T\upsilon}{2l + t_p\upsilon}ql = \frac{T\upsilon ql}{2l + t_p\upsilon} = \frac{T\upsilon q}{2 + \frac{t_p\upsilon}{l}}.$$

[1] На железнодорожном транспорте вследствие постоянного размещения станций и сигналов, в знаменатель формулы (4) всегда входит некоторое дополнительное расстояние $l_д$:

$$l_1 = l_т + l_p + l_д,$$

и максимум N получается при $l + l_д = \frac{\upsilon^2}{2p}$; если же принять, что $l_д + l_т = f(\upsilon) = kl_т = k\frac{\upsilon^2}{2p}$, то максимум N будет при $l = k\frac{\upsilon^2}{2p}$, но формула (8) остается справедливой.

Максимальная пропускная способность различных средств сооб

Тип экипажа или род движения	Длина, м	Тормозное ускорение, м/сек.²	Количество мест для сидения или вес груза, т	Время так называемой «реакции», сек.	Средняя скорость, при которой получается максимум пропускной способности, м/сек.	При непрерывном безостанов. движении: пропускная способность в час: число экипажей	При непрерывном безостанов. движении: пропускная способность в час: количество пешеходов, пассажиров, грузов
Пешеход	0.5	1	1	0.5	1.0	2400	2 400
Пассажирский транспорт							
Автомобиль	4.7	2	4	1	3.7	1025	4 100
»	6.0	1.5	6	1	6.94	1080	6 480
Автобус	5.7	1.1	24	1.5	3.5	854	22 657
»	8.6	1.1	34	1.5	5.55	880	29 920
Трамвай:							
число вагонов 1 .	10.0	0.9	24	1.5	4.5	640	15 360
» » 2 .	20.5	0.9	48	1.5	4.25	425	20 400
» » 3 .	31.0	0.9	72	1.5	4.0	328	23 616
Новый тип одиночного трамвая в Москве	15.24	—	60	2	4.5	540	21 600
Грузовой транспорт							
Автомобиль ГАЗ-51, 2.5 т	5.53	1.1	2.5	1.5	5.55	998	2 495
Автомобиль ЗИС-150, 3.5 т	6.72	1.1	3.5	1.5	5.55	944	3 304
Автомобиль ЯАЗ-200, 5—7 т	7.62	1.1	5—7 *	1.5	5.55	887	4435—620 *

* В зависимости от типа дороги.

Таблица 1

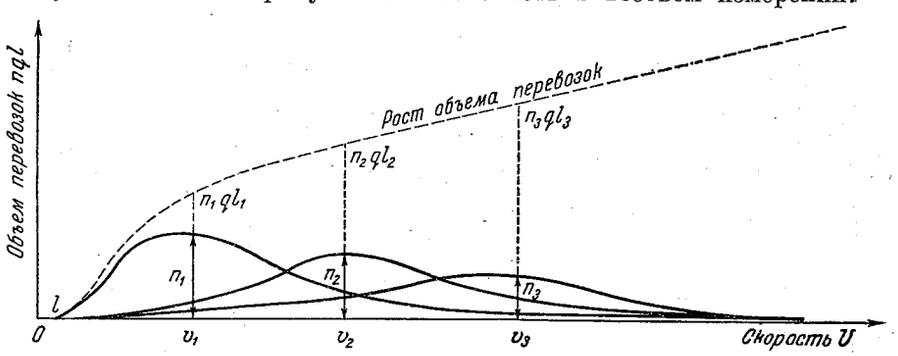
щения при непрерывном движении и движении с остановками

При движении с остановками продолжительностью					
10 сек.		20 сек.		30 сек.	
Пропускная способность					
число экипажей (вагонов)	количество пассажиров или груза, т	число экипажей (вагонов)	количество пассажиров или груза, т	число экипажей (вагонов)	количество пассажиров или груза, т
—	—	—	—	—	—
292	1168	161	644	111	444
283	1698	158	948	110	660
266	6384	153	3672	107	2568
125	4250	93	3162	73	2482
219	5256	136	3264	98	2352
166	7968	114	5472	86	4128
131	9432	96	6912	75	5400
190	7600	124	4960	93	3720
266	665	153	382	107	268
259	906	150	525	106	371
253	1265—1771	148	740—1036	105	525—750

С увеличением l этот максимум возрастает, так как знаменатель при этом уменьшается. Характерно, что при $l = \infty$

$$N_{\max} q^l = \frac{T v q}{2},$$

т. е. половине сплошного потока, так как по формуле раздельного потока бесконечный поезд при огромной скорости должен иметь такой же тормозной путь. В действительности, конечно, такое решение на практике невозможно, так как при очень длинном поезде возникают другие явления, например: случаи разрыва поезда, невозможность создать устройства, необходимые для торможения при огромных скоростях и т. д. Следует, однако, указать, что при скоростях 150—200 км/час эти затруднения не возникают, и потому вполне правильно сделать вывод, что с увеличением длины поезда уменьшается число поездов, но увеличивается пропускная способность в весовом измерении.



Рост объема перевозок в зависимости от скорости движения

На фигуре показано, как изображаются пропускные способности (в тоннах) при разных l при количестве подвижных единиц N: по мере увеличения l количество единиц падает, но весовое количество все более и более возрастает.

В табл. 1 приведена пропускная способность разных средств сообщения при беспрерывном следовании экипажей друг за другом по уличной полосе.

Если мы не стремимся к максимуму пропускной способности, а задаемся скоростью независимо от соотношения $l = \frac{v^2}{2p}$, выбирая ее больше, чем получается из этого отношения, то пропускная способность оказывается несколько меньше максимальной и определяется по формуле (4) или (7).

Движение с остановками

Остановки в пути или на перекрестках, на промежуточных платформах (трамваев, поездов), перед занятым переездом и в других случаях задерживают движение, и в соответствии с потерей времени уменьшается пропускная способность, т. е.

$$N = \frac{T}{\frac{2l}{v} + t_р + t_{ост}}.$$

В табл. 1 приведены расчеты пропускной способности для тех же видов движения при $t_{ост} = 10$, 20 и 30 сек.

Если остановки происходят не в пути, а на станции и одинаковы для каждого экипажа (поезда), то пропускная способность перегона может остаться неизменной. При такой организации остановок требуется, однако, иметь на остановочном пункте приблизительно столько полос, сколько их определяется делением $t_{ост}$ на период $\frac{l}{v} + t_р + \frac{v^2}{2p}$.

В случае пересечения улиц задержанные автомобили останавливаются там, где их задержал закрытый сигнал. В этом случае пропускная способность в час определяется по табл. 1, но с уменьшением всех результатов до

$$N_1 = \frac{\alpha N}{3600},$$

где α — общее время свободного проезда по улице в час.

Указанные формулы и полученные по ним результаты теоретически правильны, но практические данные получаются несколько ниже.

Рассмотренные выше формулы построены для случаев так называемой непрерывной (подвижной) блокировки; т. е. фактической установки приблизительно постоянного расстояния между экипажами (автомобилями, трамваями) — на глаз, как, например, это осуществляется в уличном движении. Железнодорожный транспорт пока не знает такой системы, и в нем применяется блокировка, при которой безопасность движения гарантируется постоянно установленными сигналами. Вследствие этого увеличивается длина $l_1 + \frac{v^2}{2p}$ и уменьшается пропускная способность.

Академик В. Н. Образцов
и канд. техн. наук А. П. Петров

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНЫХ БЛОК-УЧАСТКОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ

При автомобильном параллельном движении блок-участком называется расстояние, отделяющее два экипажа, причем не существует таких напольных сигналов, которые делят линию на перегоны, определяющие пропускную способность, как, например, на железных дорогах. Блок-участок является подвижным, он как бы передвигается вместе с экипажами, оставаясь равным сумме тормозного пути $l_т$ и пути $l_р$, соответствующего времени $t_р$ — так называемой реакции водителя.

На железнодорожном транспорте даже при автоматической блокировке интервал между поездами увеличивается на длину одного-двух блок-участков.

Для железных дорог (одностороннее движение) расчетная формула пропускной способности N при автоматической трехзначной блокировке [1] и езде на зеленый свет приобретает следующий вид:

$$N = \frac{T}{\frac{l}{v} + \frac{3l_{бл}}{v} + t_р} = \frac{Tv}{l + 3l_{бл} + l_р}. \qquad (1)$$

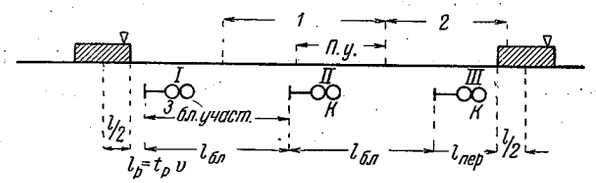
Здесь l — длина поезда,
v — средняя скорость движения,
$l_{бл}$ — длина блок-участка,
T — расчетный период (сутки, час).

Так как длина блок-участка $l_{бл}$ минимально равна тормозному пути, то дополнительное гарантийное расстояние (сверх тормозного пути) составит еще два тормозных пути.

[1] Красный, желтый и зеленый свет.

В исключительных случаях, когда необходимо реализовать максимальную пропускную способность и когда блок-участок расположен на руководящем или близком к нему подъеме, скорость хода поезда в начале блок-участка не превышает 20 — 25 км/час и видимость следующего светофора хорошая, расчет можно выполнить, исходя из условий езды под желтый свет. Тогда

$$N = \frac{T}{\frac{l}{v} + \frac{l_т}{v} + \frac{l_{бл}}{v} + t_р} = \frac{Tv}{l + l_т + l_{бл} + l_р}. \qquad (2)$$



Фиг. 1. Схема разграничения поездов при двухзначной автоблокировке с автостопами и движении без остановок

1 и *2* — изолированные секции, I—III — светофоры, *З* — зеленый свет, *К* — красный свет, *П. у.* — перекрывающий участок

Таким образом, по сравнению с расчетом для автомобильных дорог в этом случае вводится дополнительное гарантийное расстояние, равное длине блок-участка.

При двухзначной автоблокировке с автостопами [2] и движении без остановок разграничение поездов производится по схеме, показанной на фиг. 1. Пропускная способность в данном случае выразится формулой:

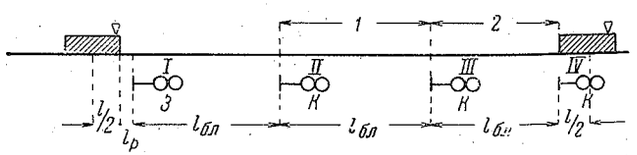
$$N = \frac{T}{\frac{l}{v} + \frac{2l_{бл} + l_{пер}}{v} + t_р} = \frac{Tv}{l + 2l_{бл} + l_{пер} + l_р}, \qquad (3)$$

где $l_{пер}$ — длина так называемого перекрывающего участка, равного тормозному пути.

[2] Устройства для автоматического торможения в случае проезда красного сигнала.

Род движения	Число вагонов	Длина поезда l, м	$l_{бл}=l_т$ при тормозном коэффициенте 0.75	Средняя скорость, м/сек.	Время так называемой реакции $t_р$, сек.	Населенность поезда (приблизительно)
Метрополитен	6	120	150	13.90	2	900
»	8	160	150	13.90	2	1200
Пригородные электрические железные дороги	9	180	200	16.7	3	1350
То же	12	240	200	16.7	3	1800

При минимальной длине блок-участков, равной тормозному пути, они совпадают с перекрывающими участками (фиг. 2),



Фиг. 2. Схема разграничения поездов при двухзначной автоблокировке с автостопами и минимальной длине блок-участка, равной тормозному пути

и пропускная способность получает такое выражение:

$$N=\frac{T}{\frac{l}{\varphi}+\frac{3l_{бл}}{\varphi}+t_р}=\frac{T\varphi}{l+3l_{бл}+l_р},$$

т. е. она такая же, как и при трехзначной автоблокировке.

При движении всех поездов с остановками (метро) влияние последних на пропускную способность понижается более частой расстановкой сигналов у платформ, в соответствии с сокращением тормозного пути.

Теоретическая пропускная способность для пригородных участков и метрополитена при постоянной длине блок-участка, равной тормозному пути, приведена в табл. 1.

Таблица 1

При непрерывном безостанов. движении		Пропускная способность при движении с остановками					
Пропускная способность в час		10 сек.		20 сек.		30 сек.	
число поездов *	число пассажиров	число поездов	число пассажиров	число поездов	число пассажиров	число поездов	число пассажиров
83	74 700	68	61 200	57	51 300	49	44 100
78	93 600	64	76 800	54	63 800	47	56 400
72	97 200	60	81 000	51	68 900	45	60 800
68	122 400	57	102 600	49	88 200	43	77 400

* По формуле $N=\frac{3600}{\frac{l+3l_т}{\varphi}+t_р}$

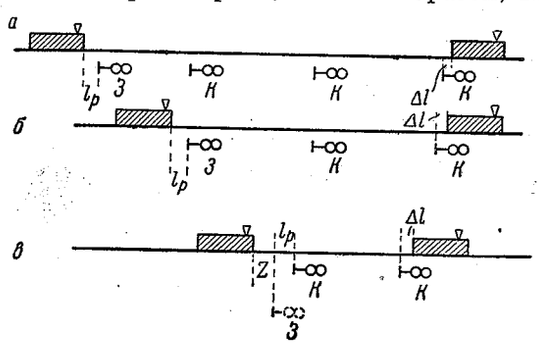
Однако вследствие того, что пригородное электрическое движение осуществляется обычно совместно с дальним и местным, а также грузовым движением (с использованием одних и тех же главных путей), практически величина блок-участков значительно повышается против указанной в табл. 1. Это вызывается повышенной величиной тормозного пути для дальних пассажирских и товарных поездов по сравнению с тормозными путями пригородных поездов. Поэтому фактически даже при параллельном графике пропускная способность пригородной линии будет в два-три раза ниже, чем по теоретическому расчету (табл. 1).

Применение зонного непараллельного графика на пригородных участках еще снизит этот результат. Таким образом, реально пропускная способность метрополитена оказывается значительно большей, чем пригородного железнодорожного участка.

На основании общей теории пропускной способности (см. первую статью данного сборника) максимум пропускной способности N может быть получен при интервале между поездами, равном тормозному пути, и при равенстве длины поезда и тормозного пути.

Но даже при самых совершенных существующих средствах сношений, как было только что показано, расстояние между двумя, идущими друг за другом, поездами всегда больше длины тормозного пути.

Увеличение минимального интервала l между поездами на железной дороге при одностороннем движении, по сравнению с автомобильным транспортом, таким образом, вызывается:



Фиг. 3. Сокращение интервала между поездами при «подвижных» блок-участках (двухзначная автоблокировка)

Δl — расстояние, зависящее от размещения изолирующего стыка

1) наличием неподвижных блок-участков (перегонов) и соответствующей сигнализации, направленной на устранение пульсирующего движения, которое возникло бы при разграничении поездов только тормозным путем;

2) необходимостью операций сношения по движению поездов (если линия не оборудована автоблокировкой).

Поэтому принципиально одним из средств повышения пропускной способности железнодорожных перегонов должно явиться использование возможности сокращения интервала между поездами при надлежащей гарантии безопасности и непрерывности движения.

Действительно, если бы блок-участок был подвижным, то при двухзначной автоблокировке с автостопами интервал между поездами мог быть сокращен по крайней мере до показанного на фиг. 3,*б* (предполагается, что в этом случае сигналы передвигаются вместе с поездами), причем условия вождения поезда не ухудшились бы по сравнению с обычным разграничением по схеме фиг. 3,*а*. Если тормозной путь был бы ограждён подвижным автостопом, то интервал мог бы быть снижен еще вследствие приближения зеленого сигнала (подвижного) к красному сигналу, движущемуся за хвостом поезда на расстоянии тормозного пути. Для устойчивости движения необходимо было бы иметь лишь дополнительное гарантийное расстояние z (фиг. 3,*в*).

В этом случае пропускная способность при безостановочном параллельном движении повысилась бы на

$$\frac{\frac{1440v}{l+l_{бл}+z+l_р}-\frac{1440v}{l+3l_{бл}+l_р}}{\frac{1440v}{l+3l_{бл}+l_р}}\cdot 100\% = \frac{2l_{бл}-z}{l+l_{бл}+z+l_р}\cdot 100\%, \qquad (4)$$

т. е. на 70—80 %, а иногда и вдвое (при зонном непараллельном графике на пригородном участке — несколько меньше). Так как при устройстве автоблокировки и централизации стрелок и сигналов допускаются постановка станционных сигналов на автоматическое действие и секционная разделка маршрутов, то пропускная способность станций не должна сильно влиять на этот результат. Повышение пропускной способности имело бы особое значение для пригородных железнодорожных линий и метрополитена.

Строго непрерывное перемещение блок-участка за поездом технически осуществимо, например, при помощи методов радиолокации и специального типа блокировки.

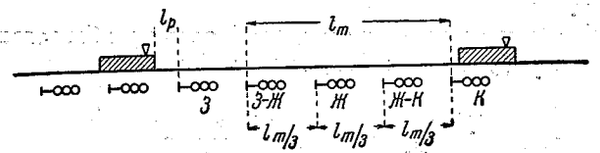
Более простое решение может быть достигнуто при замене непрерывного перемещения блок-участка скачкообразным, путем деления обычных блок-участков на две-три части. Деление на две части уже находит применение в виде четырехзначной автоблокировки, при которой длина каждого блок-участка равна половине тормозного пути наиболее быстроходного поезда.

Деление на много частей (четыре и больше) сильно удорожает устройства, но в то же время оно не даст ощутительного прироста пропускной способности.

При делении блок-участков на две-три части схема показаний сигналов и разграничения поездов может быть следующей (фиг. 4 и 5).

Полная безопасность движения может быть достигнута введением кэб-сигнализации и авторегулировки в виде прину-

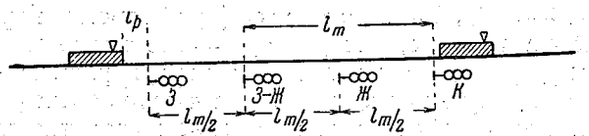
дительного снижения скоростей до заранее установленной величины при проезде желто-зеленого и желтого сигналов и принудительной полной остановки при проезде желто-красного сигнала.



Фиг. 4. Деление блок-участков на три части (пятизначная сигнализация)

З — зеленый сгет, *З-Ж* — зеленый и желтый сгет, *Ж* — желтый свет, *Ж-К* — желтый и красный свет, *К* — красный свет.

Схемы показаний сигналов, изображенные на фиг. 4 и 5, хорошо увязываются с принятыми при кэб-сигнализации.



Фиг. 5. Деление блок-участков на две части (принятая четырехзначная сигнализация). Обозначения те же, что и на фиг. 4.

Однако совершенно не исключается возможность применения и другой системы сигнализации (например, двухзначной); уменьшение показаний сигналов имеет значение в смысле простоты их восприятия машинистом.

Расчетная формула пропускной способности при применении блок-участков с минимальной длиной, равной $\frac{l_т}{2}$, $\frac{l_т}{3}$ (в общем виде $\frac{l_т}{k}$), приобретает вид:

$$N = \frac{1440v}{l + \left(1 + \frac{1}{k}\right) l_{бл} + l_р} \qquad (5)$$

вместо $N = \frac{1440v}{l + 3l_{бл} + l_р}$

при трехзначной автоблокировке. Здесь k — число сигналов на протяжении тормозного пути (блок-участка $l_{бл} \geqslant l_т$).

Следовательно, прирост пропускной способности равен

$$\frac{N_1 - N}{N} = \frac{\left(2 - \frac{1}{k}\right) l_{бл}}{l + \left(1 + \frac{1}{k}\right) l_{бл} + l_р}. \qquad (6)$$

Теоретически при $k = \infty$ (подвижной блок-участок) и $l = l_т = l_{бл}$ прирост выразился бы в 100%, т. е. в результате перехода к подвижным блок-участкам пропускная способность повысилась бы вдвое.

Практически при четырехзначной блокировке пропускная способность может увеличиться на

$$\frac{1.5 l_{бл}}{l + 1.5 l_{бл} + l_р}$$

или при $\min l_{бл} = l_т$ на 50—60%, а при пятизначной блокировке на

$$\frac{1.67 l_{бл}}{l + 1.33 l_{бл} + l_р} \text{ или } 60—70\%,$$

причем разграничивающее расстояние только на 0.33 $l_т$ превысило бы интервал при «подвижном блоке» (рассчитанном из условий, принятых на автотранспорте).

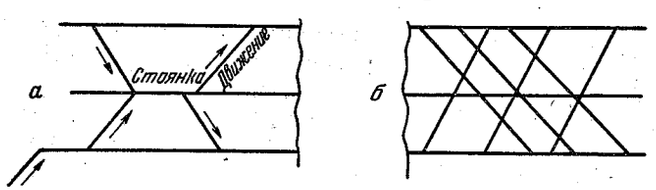
Так как $z = 0.33\, l_т$ минимально необходимо для того, чтобы избежать пульсирующего движения, то расстановка сигналов на расстоянии менее $l_т/3$ друг от друга не целесообразна не только потому, что при этом пропускная способность почти не увеличивается, но и потому, что это привело бы к ненормальным условиям движения.

Академик В. Н. Образцов
и канд. техн. наук А. П. Петров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ОБГОНОВ

О графическом изображении движения поездов или экипажей

Движущиеся экипажи или поезда изображаются, как известно, графически в виде линий, показывающих положения центра состава в зависимости от времени. При этом по оси абсцисс



Фиг. 1. Схемы однопутного и двухпутного движений.
а — однопутное движение, *б* — двухпутное движение

откладывается время, по оси ординат — расстояние. Можно изобразить движение начала и конца поезда.

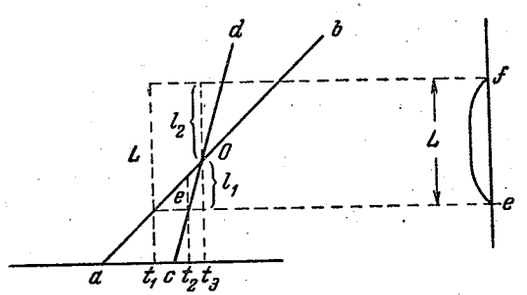
Тангенсы угла наклона линий представляют отношение пути ко времени $\frac{l}{t} = v$, т. е. скорость движения. Обычно ход поезда вычерчивается одной линией — движения центра поезда.

Еще более упрощают чертеж, показывая лишь одну линию между точками отправления и прибытия, т. е. давая среднюю скорость движения между остановками. Это обычно принято на всех графиках движения.

На фиг. 1 представлены различные виды движения; при двупутном движении (схема *б*) линии могут пересекаться в любой точке, так как два встречных поезда находятся на двух

отдельных путях. При однопутном движении (схема *а*) пересечение может быть только на станциях.

В практике часто встречается обгон поездов, изображаемый на графике пересечением линий поездов одного направления. Для осуществления такого обгона требуется два пути (две полосы), которыми могут являться или два пути, расположенные на станции, или двухпутная линия, представляемая то для экипажей (поездов) разных направлений, то для обгона одного экипажа (поезда) другим.



Фиг. 2. Схема обгона

Пусть линия *ab* (фиг. 2) представляет график движения медленно идущего экипажа, скорость движения которого v_1, линия *cd* — график движения обгоняющего его быстро идущего (со скоростью v_2). В точке *O* линии движения центров двух поездов пересекаются. Очевидно, обгон должен начаться в точке *e*, несколько раньше точки *O*, и окончиться несколько позже, в точке *f*. На всем протяжении *L* между этими двумя точками оба поезда (экипажа) должны быть на двух путях (полосах движения). Дальше они могут двигаться по одному и тому же пути. Если расстояния l_1 и l_2 считать одинаковыми, то из фигуры следует, что

$$L = (t_3 - t_2)\, v_2 \cdot 2 = (t_3 - t_1)\, v_1 \cdot 2. \qquad (1)$$

Формула имеет общий характер. Из нее следует, что уменьшение скорости v_1, т. е. уменьшение наклона, приближает $l_1 + l_2$ к величине длины поезда l, иначе говоря, уменьшает время обгона. При $v_1 = 0$, т. е. при остановке обгоняемого поезда (экипажа, трамвая), величина *L* доходит до минимума и равняется длине разъездного пути.

Для обгона или скрещения требуется, таким образом, минимальная длина разъездного пути при стоянке одного из поездов.

Графическое изображение движения широко применяется на железнодорожном транспорте. График движения поездов выражает собой план всей эксплоатационной работы железных дорог. Значительно менее распространено применение графиков автомобильного движения. Между тем использование для автодорог графического изображения движения дает возможность правильно представить его характер и выявить закономерности, которые могут быть положены в основу расчета пропускной способности автодорог при движении с обгонами.

Процесс обгона на двухполосной дороге совершается следующим образом. Водитель быстро идущего автомобиля, увидев перед собой машину или группу медленно идущих машин на расстоянии тормозного пути, сворачивает на соседнюю (вторую) полосу. Переход на вторую полосу может быть совершен только в том случае, если встречная машина на этой полосе находится на достаточном расстоянии; оно зависит от скоростей идущих навстречу машин.

После того как быстро идущий экипаж обогнал автомобиль, находящийся на первой полосе, он входит обратно на эту полосу. При этом встречный экипаж в момент возвращения обгоняющего экипажа на свою полосу должен находиться на достаточном расстоянии (не меньшем тормозного пути), чтобы обгоняющий экипаж без остановки мог вернуться на свою полосу, а встречный — проследовать по своему пути.

Необходимость иметь достаточно безопасное расстояние между встречными машинами сильно снижает пропускную способность автодорог при обгоне.

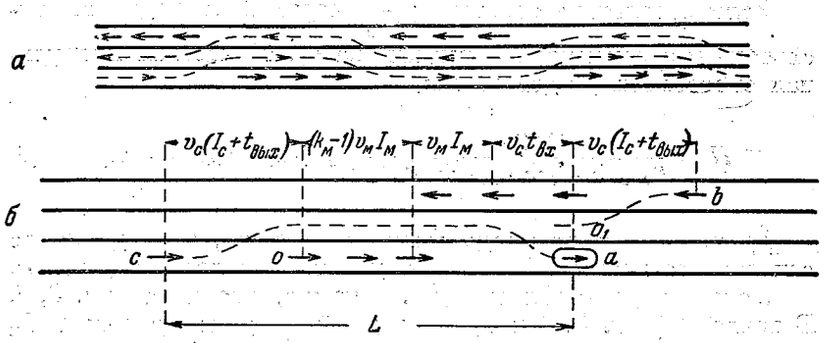
В общем случае нужно рассматривать обгон одним пакетом из $k_с$ экипажей другого пакета из $k_м$ экипажей (в частном случае, $k_м = k_с = 1$). Движение при этом может производиться на трех или двух полосах, так как при одной полосе обгон без остановки одного из экипажей исключен, а при четырех полосах они специализируются в каждом направлении попарно: одна полоса — для медленно идущих экипажей и одна полоса — для быстро идущих, что также исключает обгоны (по крайней мере, при наличии только двух основных скоростей движения).

Графическое изображение движения автомашин с обгонами при наличии трех полос и определение пропускной способности дорог

Характер движения при максимальном использовании пропускной способности ясен из фиг. 3. На фиг. 3, *б* показаны расчетные расстояния, вычисленные из условий безопасности движения.

Приняты следующие условные обозначения:

$v_с$ — скорость быстро идущего экипажа;
$v_м$ — скорость медленно идущего экипажа;
$I_с$ — минимальный интервал между центрами быстро идущих попутных экипажей;
$I_м$ — то же, медленно идущих;
$t_{вых}$ — время, связанное с выходом на третью полосу (величина задержки по сравнению с движением на прямой);
$t_{вх}$ — то же, связанное со входом;
$k_с$ — количество быстро идущих экипажей в пакете (в течение одного периода);
$k_м$ — то же, медленно идущих.



Фиг. 3. Схема движения автомобилей при обгонах на трехполосной дороге и расчетные расстояния между автомобилями при движении с обгонами

Расчетное расстояние L берется до экипажа a, а не b (фиг. 3, *б*), так как расстояние ab входит в такую же расчетную схему при рассмотрении встречного движения.

Из фиг. 3, *б* можно заключить, что для трех полос в общем случае, при наличии не одного, как показано на фигуре, а $k_с$ обгоняющих экипажей в пакете, величина L равна:

$$L = (k_с - 1)\, v_с I_с + v_с\,(I_с + t_{вых}) + (k_м - 1)\, v_м I_м + v_м I_м + v_с t_{вх} *$$

* Величина $(k_с - 1)\, v_с I_с$ представляет собой расстояние между первым и последним быстро идущими экипажами.

или

$$L = k_c v_c l_c + k_м v_м l_м + v_c (t_{вх} + t_{вых}). \qquad (2)$$

Время обгона пакетом быстро идущих экипажей пакета медленно идущих экипажей равно:

$$T = \frac{L}{v_c - v_м} = \frac{v_c (k_c l_c + t_{вх} + t_{вых}) + k_м v_м l_м}{v_c - v_м},$$

а часовая пропускная способность составит:

$$N = \frac{3600 (v_c - v_м)}{v_c (k_c l_c + t_{вх} + t_{вых}) + k_м v_м l_м} (k_c + k_м) \text{ ед. в час.}$$

Если обозначить отношение $\frac{v_м}{v_c}$ через Δ и поделить числитель и знаменатель формулы на v_c, то часовая пропускная способность будет равна:

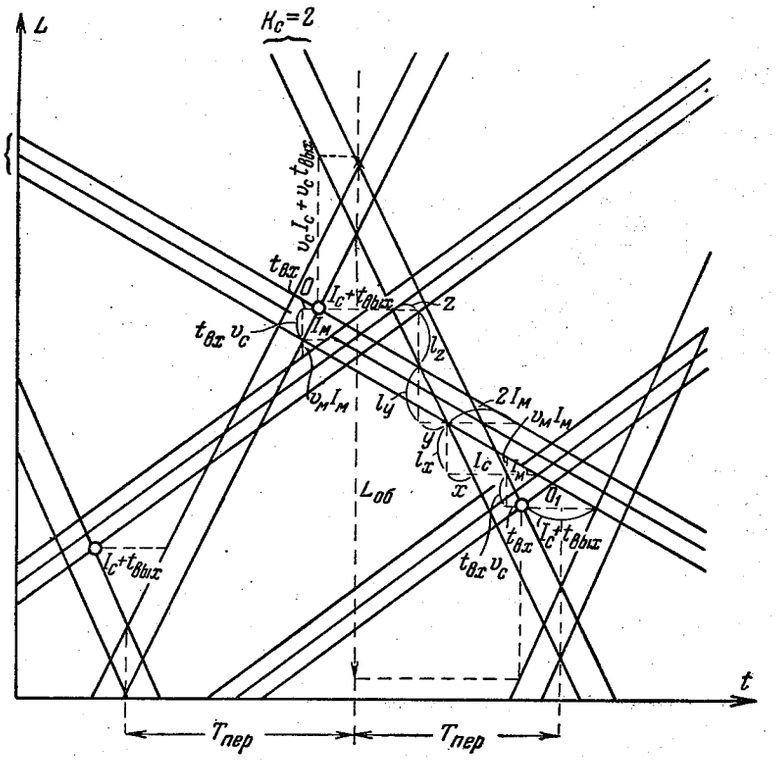
$$N = \frac{3600 (1 - \Delta)}{k_c l_c + t_{вх} + t_{вых} + \Delta k_м l_м} (k_c + k_м) \text{ ед. в час.} \qquad (3)$$

Движение можно представить графически, откладывая по оси абсцисс время и по оси ординат — расстояние (фиг. 4).

Условия движения на фиг. 4 те же, что и на фиг. 3, *б*. В точке O (фиг. 3, *б* и 4) последний экипаж из пакета $k_м$ должен находиться на расстоянии $v_c (l_c + t_{вых})$ от настигающего первого экипажа из пакета k_c. С другой стороны, в этой точке последний экипаж из встречного пакета скорых экипажей должен после обгона войти на свою полосу (со средней полосы); иначе пакет k_c рассматриваемого направления не сможет начать обгон по средней полосе. В точке O_1 (фиг. 4), соответствующей точке O_1 на фиг. 3, *б*, последний из заканчивающих обгон k_c экипажей (экипаж *а*) должен находиться одновременно с последним из медленно идущих экипажей встречного пакета и на расстоянии $v_c (l_c + t_{вых})$ от первого встречного скорого экипажа *b*. Вместе с тем вход последнего из k_c скорых экипажей рассматриваемого направления на свою полосу может начаться лишь тогда, когда он удалится от первого из $k_м$ экипажей того же направления на расстояние $v_м l_м$.

Найдя графически это расстояние и добавив к нему путь входа $t_{вх} v_c$, получим точку O_1 на пересечении линии, проведенной параллельно оси абсцисс через конец этого отрезка пути, с линией движения скорого экипажа (фиг. 4).

Имея определяющие точки O и O_1, найдем из фиг. 4 период графика $T_{пер}$.



Фиг. 4. График движения автомобилей с обгонами на трехполосной дороге

Определим сначала элементы времени, выраженные отрезками x, y, z:

$$l_x = x v_c = (x + l_c + l_м) v_м$$

или

$$x v_c = x v_м + (l_c + l_м) v_м,$$

откуда

$$x (v_c - v_м) = (l_c + l_м) v_м \quad \text{и} \quad x = \frac{(l_c + l_м) v_м}{v_c - v_м};$$

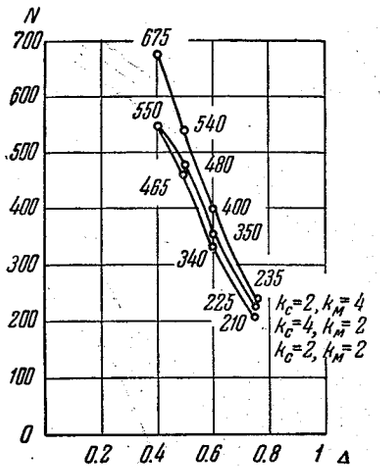
$$l_y = yv_c = (y + 2l_м)\, v_м;$$

$$yv_c - yv_м = 2l_м v_м; \quad y = \frac{2l_м v_м}{v_c - v_м};$$

$$l_z = zv_c = (l_c + t_{вых} + z)\, v_м;$$

$$zv_c - zv_м = (l_c + t_{вых})\, v_м;$$

$$z = \frac{(l_c + t_{вых})\, v_м}{v_c - v_м}.$$



Фиг. 5. График пропускной способности при обгонах на трехполосной автодороге для различных соотношений скоростей Δ обгоняемых и обгоняющих машин

В общем случае

$$xv_c = [x + (k_c - 1)\, l_c + l_м]\, v_м$$

и

$$x = \frac{[(k_c - 1)\, l_c + l_м]\, v_м}{v_c - v_м};$$

$$yv_c = [y + (k_м - 1)\, l_м]\, v_м$$

и

$$y = \frac{(k_м - 1)\, l_м v_м}{v_c - v_м};$$

$$z = \frac{(l_c + t_{вых})\, v_м}{v_c - v_м}.$$

Тогда период графика будетравен:

$$T_{пер} = 2 \cdot 0.5\,(l_c + t_{вых}) + t_{вх} + (k_c - 1)\, l_c + x + y + z =$$

$$= k_c l_c + t_{вых} + t_{вх} + \frac{v_м\,(k_c l_c + k_м l_м + t_{вых})}{v_c - v_м}$$

или после преобразования

$$T_{пер} = \frac{k_c l_c v_c + k_м l_м v_м + t_{вых} v_c}{v_c - v_м} + t_{вх}.$$

Отсюда пропускная способность равна:

$$N = \frac{3600\,(v_c - v_м)}{v_c(k_c l_c + t_{вых}) + k_м l_м v_м + t_{вх}\,(v_c - v_м)}\,(k_c + k_м).$$

Принимая, как и раньше, $\frac{v_м}{v_c} = \Delta$ и деля числитель и знаменатель на v_c, получим:

$$N = \frac{3600\,(1 - \Delta)}{k_c l_c + t_{вых} + t_{вх}\,(1 - \Delta) + \Delta k_м l_м}\,(k_c + k_м) \text{ ед. в час.} \qquad (4)$$

Формула (4) имеет тот же вид, что и формула (3), выведенная непосредственно из фиг. 3, *б*. Уточнен только один член знаменателя $t_{вх}\ (1 - \Delta)$, который мало отражается на результатах расчетов.

Если принять $t_{вх} = t_{вых} = 2$ сек., то порядок практических величин пропускной способности будет следующим (табл. 1, фиг. 5). Для грубых вычислений формулу можно упростить, исключив члены с $t_{вых}$ и $t_{вх}$. Тогда для трех полос

$$N = \frac{3600\,(1 - \Delta)}{k_c l_c + \Delta k_м l_м}\,(k_c + k_м) \text{ машин в час.} \qquad (5)$$

Таблица 1

v_c	$v_м$	Δ	N		
км/час			$k_c=2, k_м=2$	$k_c=2, k_м=4$	$k_c=4, k_м=2$
40	20	0.5	465	540	480
	30	0.75	210	235	225
50	20	0.4	550	675	550
	30	0.6	340	400	350

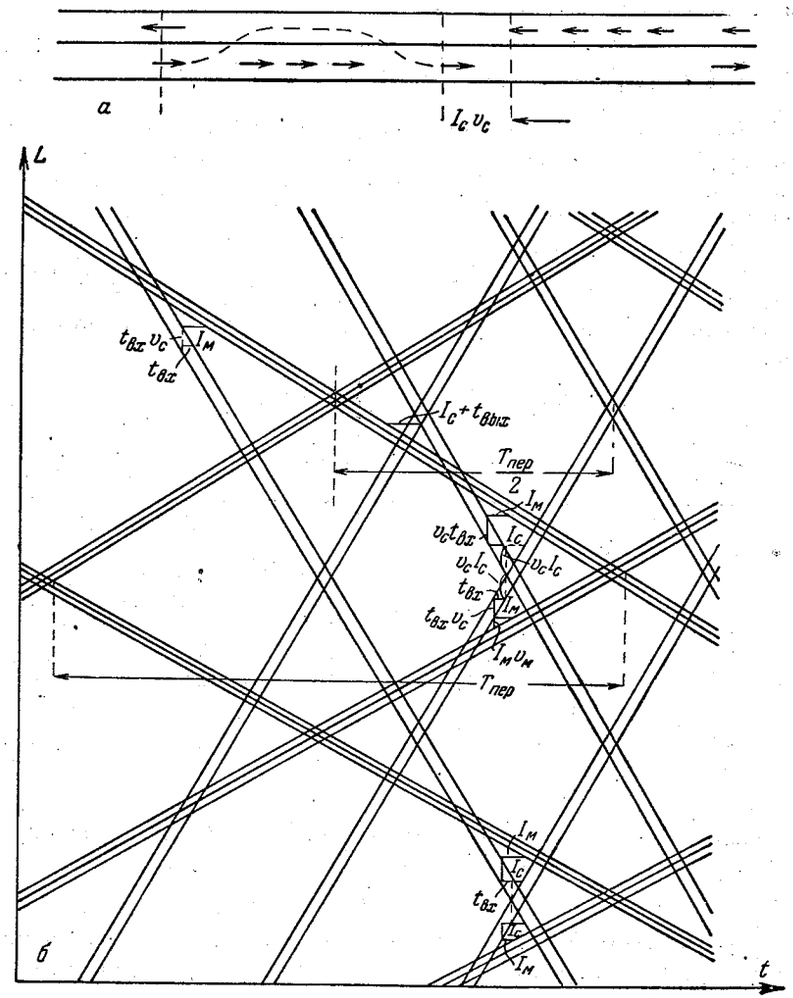
Графическое изображение движения автомашин с обгонами и определение пропускной способности при наличии двух полос

Аналогичным образом может быть изображено движение с обгоном при двух полосах. Смешанное движение может быть организовано различным образом (фиг. 6—8).

На фиг. 6, *б* представлен график, построенный с учетом того, что отрезок пути, на котором совершается обгон, до и после обгона занимают быстро идущие машины.

Фиг. 7 и 8 (на последней показан один период графика) построены аналогично фиг. 4 для трех полос, но с учетом

того, что при двух полосах одновременные обгон и скрещение со встречными машинами невозможны.



Фиг. 6. Схема (*а*) и график (*б*) движения автомобилей с обгонами на двухполосной дороге

Расчетная пропускная способность из фиг. 8 определяется следующим образом.

Элементы времени, выраженные отрезками x, y, z, те же, что и при трехполосном движении, т. е.

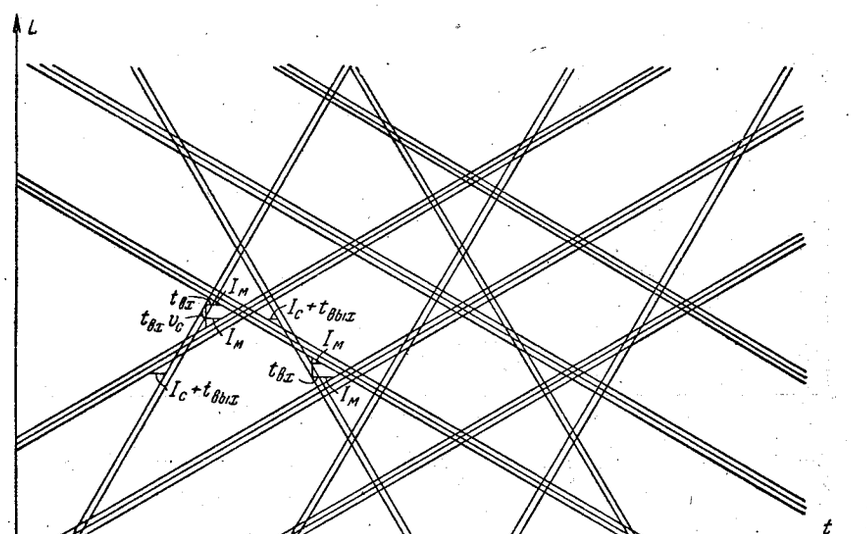
$$x = \frac{[(k_c - 1)\, l_c + l_м]\, v_м}{v_c - v_м};$$

$$y = \frac{(k_м - 1)\, l_м v_м}{v_c - v_м};$$

$$z = \frac{(l_c + t_{вых})\, v_м}{v_c - v_м}.$$

Величина a определится из фиг. 8 как высота равнобедренного треугольника, у которого основание равно $(l_c + t_{вых})\, v_c$:

$$a = \frac{(l_c + t_{вых})\, v_c}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{(l_c + t_{вых})\, v_c}{2 v_м}.$$



Фиг. 7. График движения автомобилей с обгонами на двухполосной дороге

Отрезок b определится из уравнения, полученного в результате рассмотрения треугольника (фиг. 8):

$$t_{вх} v_c + l_м v_м = (t_{вх} + l_м + 2b)\, v_м.$$

Отсюда

$$b = \frac{t_{вх}(v_c - v_м)}{2 v_м}.$$

Суммируя отрезки: a, рядом расположенный отрезок $I_c + t_{вых}$, затем z, y, x и т. д. до точки O, получим:

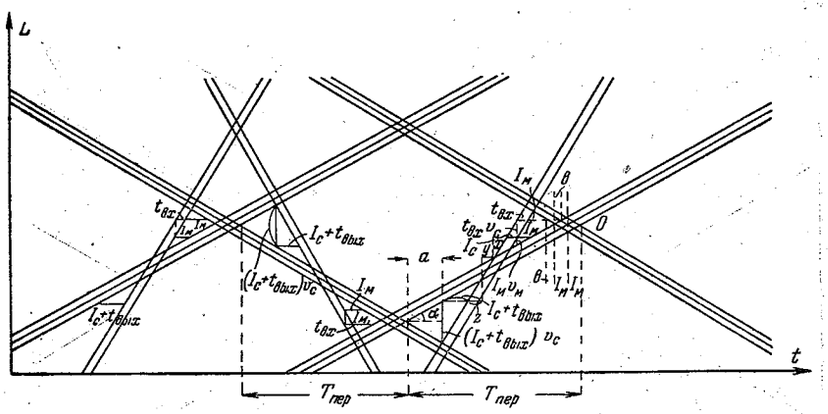
$$T_{пер} = \frac{(I_c + t_{вых})\,v_c}{2v_м} + (I_c + t_{вых}) + \frac{(I_c + t_{вых})\,v_м}{v_c - v_м} +$$

$$+ \frac{(k_м - 1)\,I_м v_м}{v_c - v_м} + \frac{[(k_c - 1)\,I_c + I_м]\,v_м}{v_c - v_м} +$$

$$+ (k_c - 1)\,I_c + t_{вх} + k_м I_м + \frac{t_{вх}\,(v_c - v_м)}{2v_м} =$$

$$= \frac{k_c I_c v_c + k_м I_м v_c + t_{вых} v_c + t_{вх}\,(v_c - v_м)}{v_c - v_м} +$$

$$+ \frac{(I_c + t_{вых})\,v_c + t_{вх}\,(v_c - v_м)}{2v_м}.$$



Фиг. 8. График движения автомобилей с обгонами на двухполосной дороге

Если $\frac{v_м}{v_c} = \Delta$, то $v_м = v_c\Delta$ и

$$T_{пер} = \left[\frac{k_c I_c + k_м I_м + t_{вых}}{1 - \Delta} + t_{вх}\right] + \frac{I_c + t_{вых} + t_{вх}\,(1 - \Delta)}{2\Delta}. \quad (6)$$

Пропускная способность равна:

$$N = \frac{3600\,(k_c + k_м)}{T_{пер}}. \quad (7)$$

Порядок значений пропускной способности N приведен в табл. 2.

Таблица 2

v км/час	$v_м$ км/час	Δ	N		
			$к_c=2$, $к_м=2$	$к_c=2$, $к_м=4$	$к_c=4$, $к_м=2$
40	20	0.5	320	345	370
	30	0.75	195	205	210
50	20	0.4	340	375	385
	30	0.6	270	300	300

Выведенные формулы основаны на закономерности, общей для различных видов транспорта, и могут быть с соответствующей модификацией применены также к движению с безостановочными обгонами на двухпутной железнодорожной линии.

На основании изложенного выше можно притти к следующим выводам:

1. Графическое изображение движения автомашин помогает лучше уяснить закономерности и правильно подойти к определению пропускной способности автодорог, в связи с организацией движения. При правильном подборе и внедрении графиков движения автомашин на загруженных дорогах можно реализовать наиболее высокие размеры движения и наибольшую скорость перевозки.

2. Пропускная способность, с учетом обгонов, при двухполосном движении, по сравнению с трехполосным движением, снижается на величину, зависящую главным образом от соотношения скоростей медленно и быстро идущих экипажей.

3. При небольшой разнице в скоростях легкового и грузового движения наличие третьей полосы мало повышает пропускную способность (сравнительно с двумя полосами).

В случае резкой разницы скоростей (малых Δ) третья полоса даст существенный прирост пропускной способности. Однако при больших размерах движения (порядка 400—500 машин в час в обе стороны) целесообразно переходить к устройству дорог с четырьмя полосами.

4. Из графиков следует, что для реализации максимальной пропускной способности дорог необходимо отправлять экипажи группами (пакетами) с определенными интервалами. Это может иметь особое значение для лимитирующих участков дорог.

Академик В. Н. Образцов
и канд. техн. наук Д. П. Марек

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АВТОДОРОГ

Вопросы расчета пропускной способности автодорог являются не новыми, но до настоящего времени они еще не уточнены и продолжают дискутироваться в нашей печати.[1]

В качестве расчетной формулы пропускной способности дорог следует выбрать такую, которая более всего отражала бы действительность.

Существующую формулу пропускной способности

$$N = \frac{3600v}{l + t_p v + cv^2},$$

где v — средняя скорость движения экипажа;
l — длина экипажа в м;
t_p — время реакции водителя в сек.;
c — тормозной коэффициент, зависящий от типа и качества автомобиля и дороги,

надо считать приемлемой при непрерывном движении, т. е. при движении на больших перегонах без пересечений или при пересечениях в разных уровнях.

Подсчет пропускной способности по этой формуле, при правильном выборе отдельных параметров, гарантирует в достаточной степени безопасность движения и отражает все изменения, которые могут произойти в технике развития автомобильного транспорта (в части длины автомобиля и его тормозных устройств и в отношении изменения дорожных условий).

При расчете по этой формуле наибольшую пропускную способность получим тогда, когда движение каждого вида

[1] См. журнал «Строительство дорог» 1946 г., № 7, июль, статью Ю. Н. Даденкова, 1947 г. № 1, статьи А. К. Бируля, Т. В. Пушечниковой, Д. А. Вулис, М. В. Фишельсона.

транспорта будет происходить на обособленных полосах и при пересечении в разных уровнях.

При наличии перекрестков, но при правильном распределении по полосам быстро и медленно идущих экипажей, без большой погрешности может быть принята формула

$$N = \frac{3600v}{l + t_p v + cv^2} k,$$

где k — коэффициент, обусловливающий время работы перекрестка (доля времени открытия проезда для заданного направления). Например, $k = 1/5,\ 1/4,\ 1/3,\ 1/2$ и т. д., т. е. свободный проход за час при зеленом свете в общем цикле 12, 15, 20, 30 сек. и т. д. может быть выражен в процентах.

При автоматическом регулировании уличного движения можно добиться уменьшения числа остановок у перекрестков путем применения «зеленой волны», подробно о которой сказано ниже.

Применяя указанные формулы, конечно, следовало бы проверить получающиеся в натуре тормозные пути при смешанном движении; легче всего проверить интервал в секундах между проходящими по перекрестку машинами. Однако все наблюдения за движением автотранспорта окажутся полезными тогда, когда будет четко определена цель постановки наблюдений.

При проектировании дорог исходят из максимальной пропускной интенсивности движения, из того, какое количество экипажей в течение ближайших 10 лет предполагается пропускать на данном проезде (в наиболее напряженные часы суток), и из типа подвижного состава автотранспорта, который предполагается иметь на расчетные годы.

Таким образом, мы исходим из максимума экипажей, которые должна пропускать одна полоса предполагаемой автодороги при определенных типах экипажей и при определенных на данное время заданных скоростях. Последние принимаются в зависимости от типа экипажей и прочих, менее влияющих на пропускную способность условий. Затем устанавливается количество полос движения на этот период, но с учетом возможности дальнейшего увеличения движения (т. е. даются запасные полосы в виде газонов, бульваров и т. п.). Нас должен интересовать вопрос пропуска максимума экипажей при определенной, довольно высокой, скорости и при определенном регулировании движения, а не при плохо организованном

движении. Наблюдения при беспорядочном движении могут оказаться бесполезными, ведущими только к лишней потере времени.

Проверка расстояний между экипажами при максимально загруженной полосе движения (например, 550 повозок в час на полосу) проводится для установления тормозного пути ($t_p v + cv^2$) в формулах пропускной способности на перекрестке.

Основываясь на технических данных и характеристиках автомобилей и дорог, мы должны составить формулу и определить по ней возможный максимум пропускной способности перекрестка в условиях регулируемого движения, а затем проверить формулу, по возможности на практике, подобрав при этом соответствующие проезды, близкие по характеристике движения к проектируемым.

Корректируя наши формулы по данным наблюдений, необходимо выполнить следующие условия:

1) наблюдения должны быть многократными (для исключения случайностей);

2) по характеристике движения (количеству экипажей, соотношению различных видов экипажей и способу регулирования) наблюдаемый участок дороги должен близко подходить к проектируемой дороге;

3) для возможности корректирования принятой нами формулы пропускной способности на перекрестке

$$N = \frac{3600 v}{l + t_p v + cv^2} k$$

следует провести наблюдения:

а) по определению пропускной способности наиболее напряженного перекрестка и перегона;

б) по средним расстояниям между машинами, проходящими по перегону и особенно на перекрестке.

Избранный перекресток должен иметь смешанное движения с грузонапряженностью 400—500 экипажей в час на одну полосу.

Не имеет смысла определять отдельно от движения реакцию водителя; следует наблюдать только расстояние между проходящими по перекрестку машинами. Это расстояние проще всего определяется по времени, т. е. в секундах.

Надо заметить, что наблюдения должны быть отнесены к определенному времени; нельзя наблюдения, сделанные, например, в 1934 г., распространять на 1948 г., как это делают в США. Это значило бы, что никакого прогресса в транспортной

технике не происходит. Между тем, наша автомобильная промышленность быстро развивается, типы машин совершенствуются динамическая характеристика их улучшается. Дорожные условия также улучшаются, коэффициент сцепления с дорогой повышается путем устройства шероховатых асфальтов или применения соответствующих покрышек и шин на автомобилях.

Из сказанного следует, что наши расчеты движения, расчеты пропускной способности нельзя обосновывать данными иностранных наблюдений, где многие проезды настолько заполнены, что нуждаются в разгрузке, и где заторы обычное явление. У нас еще имеются огромные резервы в использовании автодорог, и стоит вопрос о правильном регулировании движения, чтобы была возможность пропускать машины с большей скоростью, чем в настоящее время.

«Зеленая волна»

Общая пропускная способность автодорог так же, как и на железнодорожном транспорте, зависит не только от пропускной способности пути, но и от пропускной способности пересечений и станций.

Максимальная пропускная способность одной полосы автодороги при скорости 30 км/час и движении только автобусов составит 900 автобусов в час. Через перекресток в час может пройти с учетом замедления движения и смены сигналов семафора только 400 автобусов, между тем как автобусные остановки могут пропустить за час только около 200 автобусов (при остановке каждого автобуса для посадки и высадки 18 сек.).

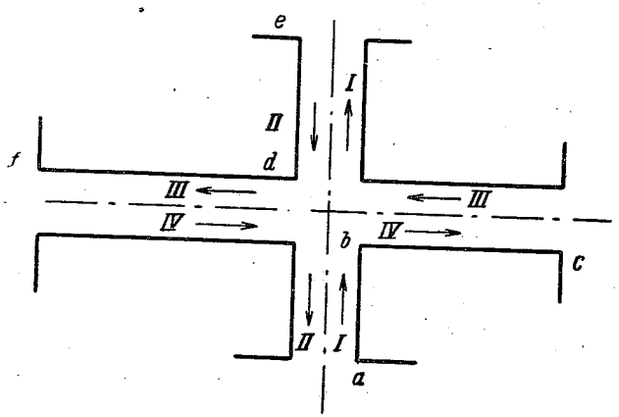
Для легкового и грузового транспорта, который не имеет регулярных остановок, лимитировать пропускную способность будет перекресток.

При прохождении перекрестка большое влияние на движение оказывают левые повороты, хотя они и составляют незначительную долю от всего движущегося потока (до 10%).

Устранение влияния перекрестков приближает нас к максимальному использованию пропускной способности улиц. При регулировании потоков, которое вводится при достаточно высокой интенсивности движения, мы не можем устранить потери, получаемые от пропуска поперечного движения, если движения пересекаются в одном уровне. Однако можно организовать движение этих потоков таким образом, чтобы получить возможный максимум пропускной способности и скорости.

Наиболее эффективным способом регулирования автодвижения являются автоматические светофоры.

«Зеленой волной» называют такой способ регулирования движения автоматическими светофорами, когда поток экипажей может беспрепятственно проходить многочисленные перекрестки. При таком движении сокращается число остановок у перекрестков и тем самым повышается средняя скорость движения за счет сокращения времени стоянок у перекрестков и разгонов при пуске автомобилей.



Фиг. 1. Схема направлений движения при наличии перекрестка

Непрерывное движение — без остановок у перекрестков, для отдельных потоков достигается путем смещения времени открытия светофора на каждом последующем перекрестке, т. е. при подходе потока машин к каждому последующему светофору последний дает зеленый сигнал.

Для осуществления движения по способу «зеленой волны» необходимо движение машин по перегону увязывать с работой светофоров, длительность же работы светофоров, в свою очередь, зависит от величины четырех потоков (фиг. 1).

Рассмотрим на примере одного узла, как следует производить эту увязку.

Даны следующие расстояния: $ab = 200$ м, $de = 250$ м, $bc = 350$ м, $df = 450$ м.

Для достижения непрерывности движения («зеленой волны») для партий машин в каждом из пересекающихся направлений необходимо выдержать следующие условия:

Путь по направлению потока	По каждой полосе проходит в час машин
I — I	$M_1 = 300$
II — II	$M_2 = 250$
III — III	$M_3 = 100$
IV — IV	$M_4 = 150$

1. Сдвиг во времени последующих (в направлении потока экипажей) сигналов должен быть равен времени хода экипажа по участку между двумя смежными перекрестками, т. е.

$$\frac{ab}{v_1} = t_{\text{сдвига}}. \qquad (1)$$

2. Длительность зеленого и красного сигналов должна быть пропорциональна максимальным размерам наличного движения на пересекающихся направлениях, т. е.:

$$\frac{M_1}{M_4} = \frac{t_{\text{зел}}}{t_{\text{кр}}}. \qquad (2)$$

3. В целях обеспечения зеленой волны также и во встречном направлении для каждого направления должно быть выдержано следующее равенство:

$$\frac{l_1}{v_1} + \frac{l_1}{v_2} = kq, \qquad (3)$$

где l_1 — длина рассматриваемого перегона в м;

v_1 и v_2 — скорости движения автомобилей на этом перегоне в одном и другом направлениях в м/сек.;

q — полный цикл работы светофора в сек.;

k — число циклов, которое может быть равно 1, 2, 3 и т. д., в зависимости от длины перегона и скоростей на нем.

В нашем случае сдвиг во времени светофора для участка ab составит $\frac{200}{8.3} \approx 24$ сек., где 8.3 — скорость в м/сек., которой мы задались для данного направления, считая его главным (имеющим наибольшие размеры движения).

Зависимость между работой светофора и грузопотоком выражается формулой (2):

$$\frac{M_1}{M_4} = \frac{t_{\text{зел}_1}}{t_{\text{кр}_1}} = \frac{300}{150} = 2,$$

т. е. время работы зеленого света направления I—I должно быть в два раза более времени работы красного света этого направления, или зеленого света, пересекающего направления III—III, IV—IV.

При полном цикле светофора в 60 сек., длительности двух желтых сигналов в 12 секунд (на направлениях I—I и II—II $t_{зел} = 32$ сек.) $t_{кр}$ этого же направления (или $t_{зел}$ направлений III—III и IV—IV) составит 16 сек.

Задавшись скоростью на одном из наиболее важных направлений (например I—I) $v_1 = 30$ км/час, или 8.33 м/сек., находим скорость обратного направления.

Для участка ab длина $l_1 = 200$ м; k принимаем равным единице, так как перегон короткий. Тогда

$$\frac{200}{8.3} + \frac{200}{v_2} = q,$$

откуда $v_2 = 5.5$ м/сек., или 20 км/час.

Находим скорость обратного направления на участке:

$$de = l_2 = 250 \text{ м};$$

$$\frac{250}{8.3} = \frac{250}{v_2} = 8.3 \text{ м/сек., или } 30 \text{ км/час},$$

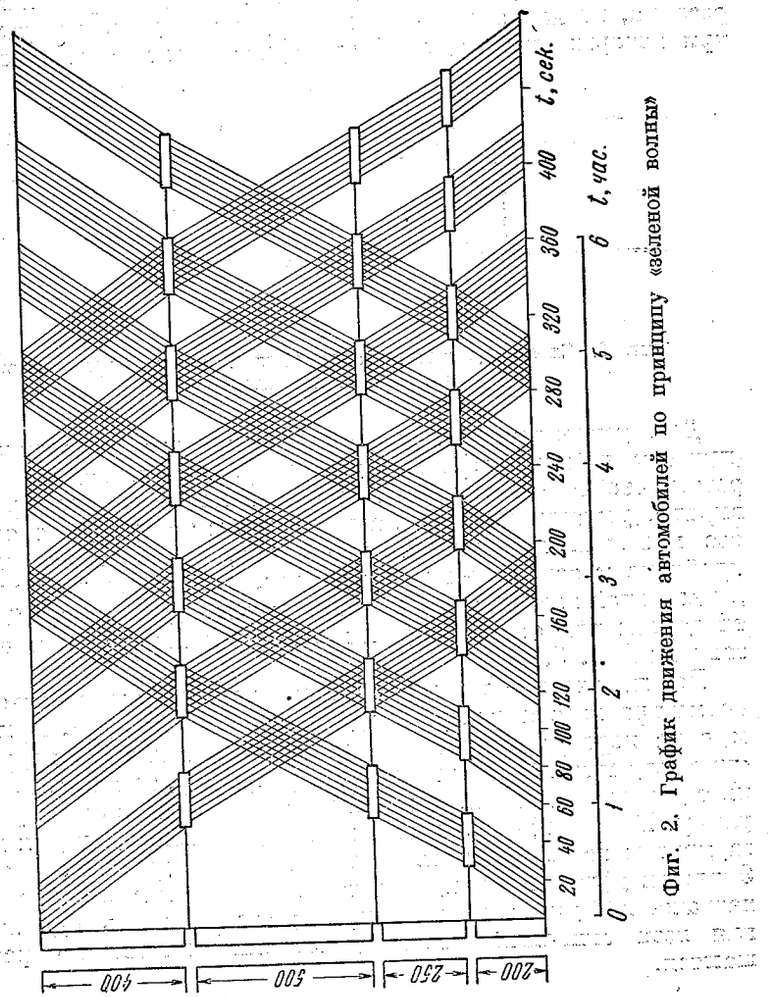
т. е. на данном участке автомобили должны итти с одинаковой скоростью в обоих направлениях.

Подобным же образом может быть произведен расчет для пересекающихся направлений.

При таком расчете зеленой волны обратные потоки проходят полностью в определенное расчетное время зеленого сигнала (фиг. 2), в то время как в принятых ранее методах расчета при некоторых перегонах часть обратных потоков должна задерживаться.

Из сказанного следует, что при проектировании городов и вообще сети дорог в населенной местности жилые кварталы должны быть по возможности одинаковой длины (для соблюдения одинаковой скорости движения), расстояния между перекрестками должны быть не менее 300—400 м, что даст возможность использовать на перегонах наибольшую среднюю скорость.

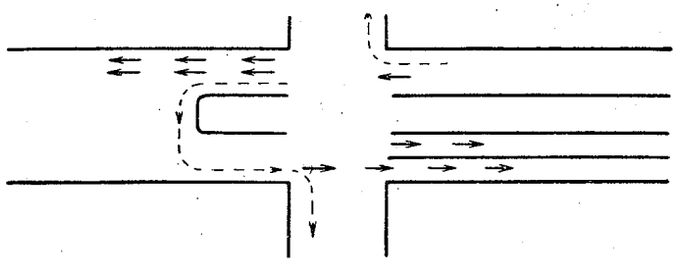
Существует мнение, что даже при «зеленой волне» необходимо снижать скорость у перекрестка. Некоторые авторы вообще считают, что в городских условиях осуществить движение



Фиг. 2. График движения автомобилей по принципу «зеленой волны»

по способу «зеленой волны» почти невозможно вследствие наличия правых и левых поворотов.

Мы полагаем, что «зеленая волна» на магистралях вполне реальна, но для этого сначала следует создать те условия, при которых она может быть осуществлена, а именно:



Фиг. 3. Схема движения автомобилей через перекресток при «зеленой волне»

Для устранения замедления при подходе к перекрестку (при «зеленой волне») поток должен формироваться таким образом, чтобы все машины, сворачивающие на перекрестке вправо, устанавливались на крайнюю к тротуару полосу, а все машины, поворачивающие влево, устанавливались на крайнюю к середине полосу дороги. Движение по принципу «зеленой волны» требует наличия свободной средней части дороги для осуществления левого поворота, как показано на фиг. 3.

Все перекомпановки транспорта должны совершаться во время красного света при входе в «зеленую полосу». При выезде на перекресток машины не должны выходить из ряда, стремясь занять больше места на перекрестке, так как это стесняет движение при входе машин с перекрестка в более узкую улицу. Машины должны итти по каждой полосе, следуя друг за другом на расстоянии, соответствующем данной скорости. Экипажи должны переходить через перекресток со скоростью, назначенной для всей магистрали; эта скорость одинакова для всех экипажей, поэтому никакие обгоны не разрешаются.

«...ни одно явление в природе не может быть понято, если взять его в изолированном виде, вне связи с окружающими явлениями, ...в отрыве от них».

И. СТАЛИН.

Вопросы ленинизма, изд. 11-е, стр. 536

Проф. В. А. Сокович

ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ГРАФИКОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Для оценки качества графиков движения поездов установлен измеритель «коэффициент участковой скорости» β, представляющий собой отношение участковой скорости на каждом отдельном участке движения (тяговом плече) к технической скорости.

При общепринятых обозначениях это выражается так:

$$\beta = \frac{v_к}{v_т},$$

где $v_к$ — участковая скорость в км/час;

$v_т$ — техническая скорость в км/час;

β — коэффициент участковой скорости.

Естественно, что в общем случае $\beta \neq 1$, но к этому нужно стремиться.

По отчетным данным по сети для однопутных линий величина коэффициента участковой скорости в 1940 г. колебалась от 0.52 до 0.79, причем по отдельным группам участков эти величины распределялись так: для 16 участков значение β колебалось от 0.53 до 0.72, для 16 — от 0.62 до 0.78, для 18 — от 0.54 до 0.79, для 19 — от 0.52 до 0.68, для 22 — от 0.59 до 0.74.

В среднем для указанных 91 участка однопутных линий коэффициент участковой скорости был равен 0.65. Столь низкая величина β не может считаться нормальной.

Чтобы выяснить, чем объясняется такая низкая величина коэффициента участковой скорости, необходимо установить главнейшие факторы, влияющие на нее, и степень их влияния на абсолютную величину β. Это даст возможность наметить мероприятия для приближения участковой скорости к техни-

ческой на однопутных линиях или, что то же, повысит значение β.

В табл. 1 приведены сгруппированные отчетные данные, характеризующие изменение коэффициента участковой скорости, в зависимости от коэффициента неидентичности при одном и том же количестве срочных поездов и при одной и той же степени заполнения графиков.

Таблица 1

Зависимость β от параметров γ, I и $n_{ср}$

При			β	При			β
$n_{ср}$	γ	I		$n_{ср}$	γ	I	
1	0.75	0.80	0.74	1	0.99	0.85	0.62
1	0.75	0.78	0.69	2	0.72	0.79	0.68
1	0.75	0.75	0.74	2	0.72	0.60	0.68
1	0.75	0.72	0.67	2	0.75	0.88	0.66
1	0.81	0.95	0.72	2	0.76	0.79	0.56
1	0.81	0.93	0.53	2	0.79	0.70	0.70
1	0.81	0.91	0.69	2	0.80	0.83	0 56
1	0.81	0.89	0.69	2	0.84	0.69	0.63
1	0.81	0.88	0.68	2	0.88	0.80	0.65
1	0.81	0.86	0.69	2	0.88	0.78	0.63
1	0.81	0.86	0.71	2	0.88	0.45	0.65
1	0.81	0.86	0.71	2	0.92	0.80	0.59
1	0.81	0.86	0.72	2	0.92	0.71	0.54
1	0.81	0.86	0.72	2	0.92	0.69	0.54
1	0.81	0.85	0.68	2	0.96	0.69	0.67
1	0.81	0.82	0.69	2	0.96	0.67	0.64
1	0.83	0.76	0.71	2	0.96	0.73	0.63
1	0.83	0.67	0.69	2	1.00	0.74	0.63
1	0.84	0.69	0.70	2	1.00	0.73	0.61
1	0.88	0.75	0.59	2	1.00	0.65	0.62

Рассматривая приведенные ряды чисел увидим, что строгой закономерности между коэффициентом неидентичности и коэффициентом участковой скорости нет. Можно лишь заметить, что с понижением абсолютного значения коэффициента неидентичности I повышается и абсолютное значение коэффициента участковой скорости β. Особенно это заметно в ряде зависимостей между I и β при $n_{ср} = 1$ и $\gamma = 0.81$. Если из этого ряда исключить одну, явно случайную строку (при $I = 0.95$ и $\beta = 0.72$), то остальные данные проявляют известную устойчивость.

Располагаемые точки удовлетворяют уравнению следующего вида:

$$\beta = a - bI.$$

Имея ряд данных, получим следующую систему уравнений:

$$na - b\sum I = \sum \beta,$$
$$a\sum I - b\sum I^2 = \sum \beta I.$$

Для решения этой системы уравнений имеем следующие данные (табл. 2)

Таблица 2

I	β	I^2	$I\beta$	β вычисленное	Отклонение	
					%	абс.
0.95	0.72	0.9025	0.6840	0.65	—9.8	—0.07
0.91	0.69	0.8281	0.6279	0.68	—1.4	—0.01
0.89	0.69	0.7921	0.6141	0.69	0	0
0.88	0.68	0.7744	0.5984	0.69	+1.4	+0.01
0.86	0.69	0.7396	0.5934	0.71	+2.9	+0.02
0.86	0.71	0.7396	0.6106	0.71	0	0
0.86	0.71	0.7396	0.6106	0.71	0	0
0.86	0.72	0.7396	0.6192	0.71	—1.3	—0.01
0.86	0.72	0.7396	0.6192	0.71	—1.3	—0.01
0.85	0.68	0.7225	0.5880	0.71	+4.4	+0.03
0.82	0.69	0.6724	0.5658	0.73	+5.8	+0.04
9.59	7.70	8.3900	6.7312	7.70	0	0

Пользуясь данными табл. 2, получим следующую систему уравнений:

$$11a - 9.59b = 7.70;$$
$$9.59a - 8.39b = 6.7312.$$

Решая, найдем, что

$$a = 1.24; \quad b = 0.62.$$

Искомое уравнение примет вид:

$$\beta = 1.24 - 0.62I.$$

Для средних значений получим:

$$\beta = 1.24 - 0.62 \cdot 0.87 = 0.7006,$$

т. е. полное совпадение с отчетными данными.

Хотя данное уравнение и удовлетворяется найденными значениями, а также средним значением, и дает в отдельных случаях отклонение не более 9.8%, т. е. в пределах точности самого метода подсчета, но оно не вполне соответствует природе явления.

В самом деле, при $I = 0$ получим $\beta = 1.24$, т. е. больше единицы, чего, по существу, быть не может. Поэтому построим уравнение следующего вида:

$$\beta = 1 - aI.$$

Пользуясь данными табл. 2 для значений β и I, получим ряд уравнений, из которых по методу наименьших квадратов находим наиболее вероятное значение для a, а именно:

$$a = \frac{\Sigma (1-\beta) I}{\Sigma I^2}.$$

Необходимые данные получим из табл. 3.

Таблица 3

I	I^2	$(1-\beta)$	$(1-\beta)I$	β вычисленное	β отчетное	Отклонение
0.95	0.9025	0.28	0.2660	0.68	0.72	—5.5
0.91	0.8281	0.31	0.2831	0.69	0.69	0
0.89	0.7921	0.31	0.2759	0.70	0.69	+1.4
0.88	0.7744	0.32	0.2816	0.70	0.68	+3.0
0.86	0.7396	0.31	0.2660	0.71	0.69	+2.9
0.86	0.7396	0.29	0.2494	0.71	0.71	0
0.86	0.7396	0.29	0.2494	0.71	0.71	0
0.86	0.7396	0.28	0.2408	0.71	0.72	—1.4
0.86	0.7396	0.28	0.2408	0.71	0.72	—1.4
0.85	0.7225	0.32	0.2720	0.71	0.68	+4.4
0.82	0.6724	0.31	0.2542	0.72	0.69	+4.3
9.59	8.3900	3.30	2.8798	0.70	0.70	0
0.87						

Решая получим:

$$a = \frac{2.8798}{8.39} = 0.34.$$

Искомое уравнение примет вид:

$$\beta = 1 - 0.34I.$$

Для средних данных будем иметь:

$$\beta = 1 - 0.34 \cdot 0.87 = 0.7042.$$

По отчету $\beta = 0.70$, т. е. практически имеем полное совпадение. Это уравнение отвечает природе явления и дает отклонения, в частном случае значительно меньшие, чем предыдущее, а именно, отклонение не превышает 5.5%. Поэтому данную формулу можно более уверенно рекомендовать для практических целей как первое приближение к разрешению рассматриваемого вопроса.

Обращаясь к отчетным данным, относящимся к выполнению графиков движения поездов на нашей сети, имеем следующие показатели (табл. 4):

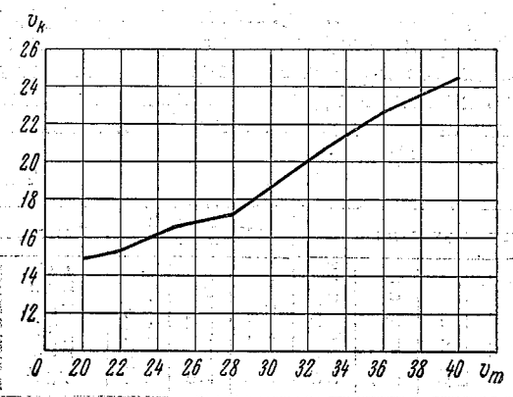
Таблица 4

Однопутные участки				Двухпутные участки			Однопутные участки		
техническая скорость движения груза, км	количество участков	участковая скорость	коэффициент скорости	количество участков	участковая скорость	коэффициент скорости	густота движения поездов в тыс.	количество участков	коэффициент скорости
До 20	18	14.8	0.82	2	18.0	1.00	До 3	278	0.67
20—23	36	15.2	0.71	5	17.1	0.78	3—6	98	0.63
23—26	50	16.3	0.66	15	17.1	0.70	6—9	94	0.61
26—29	100	17.1	0.62	26	17.7	0.64	9—12	78	0.59
29—32	162	18.5	0.60	70	19.6	0.64	12—15	48	0.56
32—35	125	21.0	0.63	79	21.2	0.63	15—18	10	0.55
35—38	94	22.6	0.62	84	23.1	0.63	18—21	3	0.48
Свыше 38	28	24.4	0.59	55	28.0	0.68	21—24	2	0.50
Итого . .	613	19.2	0.63	335	21.9	0.65	Свыше 24	2	0.65
Средняя техническая скорость для участков однопутных		30.6					Итого.	613	0.63
Двухпутных		33.8							

Из таблицы следует, что наиболее часто встречающиеся случаи колеблются в пределах технической скорости от 26 до 38 км/час и дают участковую скорость от 17.1 до 22.6 км/час, а коэффициент участковой скорости — от 0.60 до 0.63 или в среднем по сети 0.62.

Это соответствует средним значениям для выбранных 99 графиков, построенных для однопутных линий, которые, как указывалось выше, дают коэффициент участковой скорости в среднем 0.65.

Построив график зависимости участковой скорости от технической, получим следующую диаграмму (фиг. 1).



Фиг. 1

Расположение точек удовлетворяет уравнению

$$y = a + bx.$$

Имея ряд значений для $v_к$ и $v_т$, можно составить ряд уравнений и из них по методу наименьших квадратов найти наиболее вероятное значение для a и b.

Искомая система уравнений примет вид:

$$na + b\sum x = \sum I; \quad a\sum x + b\sum x^2 = \sum xy.$$

Для решения этой системы имеем следующие данные (табл. 5):

Таблица 5

x ($v_т$)	I ($v_к$)	xy ($v_т v_к$)	x^2 ($v_т$)^2	Вычисление		Отклонение %	
				$v_к$	β	$v_к$	β
20	14.8	296.0	400	15.4	0.72	+4.7	—6.1
22	15.2	334.4	484	15.9	0.72	+4.6	+1.4
24	16.3	391.2	576	16.7	0.69	+2.4	+4.5
27	17.1	461.7	729	17.9	0.66	+4.9	+6.4
30	18.5	555.0	900	19.1	0.67	+3.2	+11.6
34	21.0	714.0	1156	20.7	0.61	—1.4	—3.2
36	22.6	813.6	1296	21.5	0.60	—4.8	—3.2
39	24.4	915.6	1521	22.7	0.58	—7.0	—1.7
232	149.9	4481.5	7062	149.9 18.7	0.64		—1.5

Наша система уравнений примет следующий вид:

$$8a + 232b = 149.9;$$
$$232a + 7062b = 4481.5.$$

Решая ее, найдем:

$$a = 7.14, \quad b = 0.40.$$

При этих величинах a и b уравнение изменится так:

$$v_к = 7.14 + 0.4\ v_т.$$

Для средних значений это уравнение дает такое решение:

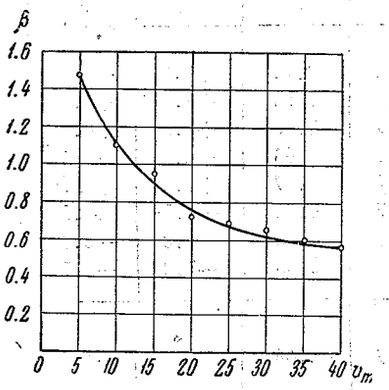
$$v_к = 7.14 + 0.4 \cdot 29 = 18.74,$$

т. е. мы имеем полное совпадение. Отсюда можно найти общее выражение для коэффициента участковой скорости, а именно:

$$\beta = \frac{7.14 + 0.4v_т}{v_т} = 0.4 + \frac{7.14}{v_т}$$

Беря ряд значений для $v_т$, получим соответствующие значения для β. Результаты вычислений приведены в табл. 6 и на графике фиг. 2.

Таблица 6



Фиг. 2

$v_т$	β вычисленное	β отчетное	отклонение (+ или —) от вычисленных данных
5	1.43		—
10	1.10		—
15	0.87	0.82	—1.2
20	0.75		—
25	0.68	0.71	+4.6
30	0.64	0.60	—6.2
35	0.60	0.62	+3.3
40	0.58	0.59	+1.7
Среднее 30.6	0.63	0.63	0

Точки кривой почти совпадают с отчетными данными, что подтверждают и числа таблицы.

Наконец, из табл. 6, в которой приведены данные о зависимости между густотой движения и коэффициентом участковой скорости, можно путем аналогичных вычислений найти следующую аналитическую зависимость:

$$\beta = 0.73 - 0.011F,$$

где F — густота движения, выраженная количеством поездов на 1 км эксплоатационной длины в тысячах.

Резюмируя изложенное выше, приходим к выводу, что среднее значение $\beta = 0.65$ для части построенных графиков и фактически выполненный коэффициент участковой скорости 0.63 для однопутных линий резко противоречат заявлению некоторых теоретиков, утверждающих, что коэффициент участковой скорости для однопутных линий должен приближаться к 0.80 и даже к 0.85.

Чем же объяснить такой резкий разрыв между теорией и практикой?

Предположить, что все построенные за последние годы графики движения недоброкачественны и что они плохо выполняются — нельзя; это было бы принципиально неправильно. Надо определенно сказать, что в общем графики построены вполне доброкачественно. Если это так, то причину расхождений между теорией и практикой нужно искать в другом.

Прежде всего интересно установить, насколько справедливы утверждения некоторых исследователей, будто неидентичность перегонов на практике сильно влияет на β, т. е. на величину коэффициента участковой скорости.

Для выяснения вопроса о том, как в действительности коэффициент неидентичности влияет на величину коэффициента участковой скорости, были исследованы действующие графики (всего 91), анализ которых не подтвердил указанных положений.

За исходное положение было принято, что $\beta_{max} = 1$, т. е. что участковая скорость равняется технической.

Далее было сделано предположение, что степень насыщения графика, неидентичность перегонов и число режущих поездов отрицательно влияют на величину участковой скорости, но что законы этого влияния неизвестны.

Здесь мы сталкиваемся со случаем, когда искомые величины не могут быть измерены непосредственно и не могут быть представлены как явные функции непосредственно измеряемых величин. В таких случаях измеряются величины функций, зависящих от искомых величин, и получается система уравнений, в которые искомые величины входят как неизвестные.

В качестве первого приближения сделано предположение, что между β, степенью заполнения графика, неидентичностью перегонов и количеством срочных поездов существует линейная зависимость.

При таких предпосылках должно удовлетворяться следующее равенство:

$$\beta = 1 - A\gamma - BI - Cn_{ср}.$$

Предполагая, что ныне действующие графики доброкачественны и что при построении их исходили не из абстрактных требований и возможностей только данного участка, изолированно от всего направления, а с учетом комплексных требований беспрепятственного пропуска грузопотока по целому направлению, или, иначе говоря, предполагая, что действующий график представляет собой наиболее рациональное решение использования существующей пропускной способности в данной производственной обстановке, — я считаю возможным поль-

зоваться элементами построенных графиков как исходными для решения поставленной задачи.

При таких предпосылках из действующих графиков по 91 участку однопутных линий взяты величины β, γ, I и $n_{ср}$. Подставляя их в приведенное выше уравнение, получим 91 уравнение с тремя неизвестными A, B и C.

Пользуясь методом наименьших квадратов, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} A\Sigma\gamma^2 + B\Sigma\gamma I + C\Sigma\gamma n_{ср} &= \Sigma(1-\beta)\gamma;\\ A\Sigma\gamma I + B\Sigma I^2 + C\Sigma I n_{ср} &= \Sigma(1-\beta)I;\\ A\Sigma\gamma n_{ср} + B\Sigma n_{ср} I + C\Sigma n_{ср}^2 &= \Sigma(1-\beta)n_{ср}. \end{aligned}$$

Применяя эту систему уравнений к данному частному случаю, получаем такую систему уравнений:

$$\begin{aligned} 55.6998\,A + 54.7376\,B + 116.111C &= 25.1194;\\ 54.7376\,A + 56.0968\,B + 115.0\,C &= 25.1766;\\ 116.11\,A + 115.0\,B + 331.0\,C &= 56.66. \end{aligned}$$

Решая, получим:

$$A = 0.381;\ B = 0.024;\ C = 0.029.$$

Следовательно, искомое уравнение примет вид:

$$\beta = 1 - 0.381\gamma - 0.024I - 0.029\,n_{ср}.$$

Для проверки подставим в данное уравнение средние отчетные цифры γ, I и $n_{ср}$. Получим следующее:

$$\beta = 1 - 0.381 \cdot 0.826 - 0.024 \cdot 0.786 - 1.5 \cdot 0.029 = 0.621.$$

Фактически же величина β по отчетным данным равна 0.646.

Таким образом, ошибка между вычисленной величиной и отчетной составляет:

$$\frac{\beta_{ср} - \beta_{выч}}{\beta_{ср}} \cdot 100 = \frac{0.646 - 0.621}{0.646} \cdot 100 = 3.5\%.$$

Для проверки правильности полученных выводов все 91 участок были разбиты на две группы. Одна группа заключала в себе 22 участка и другая — 69 участков. Для каждой группы проделаны аналогичные вычисления. Для первой группы получена следующая система управлений:

$$\begin{aligned} 14.7403A + 13.557B + 31.16\,C &= 6.0333;\\ 13.557A + 12.7611B + 26.74\,C &= 5.4888;\\ 31.16A + 26.74B + 97\,C &= 14.05. \end{aligned}$$

Решая эту систему уравнений, будем иметь:

$$A = 0.206;\ B = 0.118;\ C = 0.046.$$

Следовательно, искомая зависимость примет следующий вид:

$$\beta_{22} = 1 - 0.206\gamma - 0.118I - 0.046n_{ср}.$$

Для другой группы мы получили следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} 40.9268A + 41.1806B + 84.45C &= 19.0861;\\ 41.1806A + 43.3357B + 88.76C &= 19.6878;\\ 84.45A + 88.76B + 234\,C &= 42.61. \end{aligned}$$

Решая, получим:

$$A = 0.372;\ B = 0.005;\ C = 0.043.$$

Искомое уравнение примет вид:

$$\beta_{69} = 1 - 0.372\gamma - 0.005I - 0.042n_{ср}.$$

Сопоставляя все эти уравнения, получим следующую зависимость (табл. 7):

Таблица 7

Число уравнений	Аналитическая зависимость	При средних значениях $I = 0.71$, $\gamma = 0.72$, $n_{ср} = 1.66$	
		абс.	отклонение β %
22	$\beta_{22} = 1 - 0.206\,\gamma - 0.118\,I - 0.046\,n_{ср}$	0.68	+4.6
69	$\beta_{69} = 1 - 0.372\,\gamma - 0.005\,I - 0.043\,n_{ср}$	0.64	−1.5
91	$\beta_{91} = 1 - 0.381\,\gamma - 0.024\,I - 0.029\,n_{ср}$	0.64	−1.5

Рассматривая природу приведенных уравнений, видим, что:

1) на величину β наибольшее влияние оказывает степень заполнения графика (величина γ) и наименьшее влияние — коэффициент неидентичности I, вопреки мнению многих исследователей;

2) наиболее правильные результаты дает последняя формула, которой и можно пользоваться для оценки графика однопутных линий.

3) имея заданную средневзвешенную общесетевую техническую скорость $v_т$, можно найти вероятную среднесетевую участковую скорость для однопутных линий, пользуясь следующим выражением:

$$v_к = (1 - 0.381\gamma - 0.024I - 0.029n_{ср})\, v_т.$$

Для более наглядного выявления степени влияния γ, I и $n_{ср}$ на величину β проведем исследование по частям. Сначала сделаем предположение, что на величину β влияет лишь степень заполнения графика (величина γ), а остальные параметры (I и $n_{ср}$) не влияют и остаются постоянными. При таком положении будем иметь следующую зависимость.

Взяв 16 участков однопутных линий, мы получим 16 уравнений, из которых по методу наименьших квадратов найдем интересующие нас величины. Эти уравнения будут следующего вида:

$$16a - 11.31b = 10.89;$$
$$11.31a - 8.03b = 7.68.$$

Решая эти уравнения, найдем, что $a = 1.03$ и $b = 0.507$. Поэтому искомая зависимость будет:

$$\beta\gamma = 1.03 - 0.507\gamma.$$

Сделаем теперь другое предположение, а именно: предположим, что β зависит исключительно от неидентичности перегонов I, а от остальных параметров совершенно не зависит.

В таком случае аналитическая зависимость выразится следующим образом:

$$\beta_I = a - bI.$$

Применяя прежний принцип решения этого вопроса, получим следующую систему уравнений:

$$16a - 13.18b = 10.89;$$
$$13.18a - 10.684b = 8.9712.$$

Решая ее, получим:

$$a = 0.682 \text{ и } b = 0.0024.$$

Следовательно, искомая зависимость будет представлена в следующем виде:

$$\beta_I = 0.682 - 0.0024I.$$

Наконец, сделаем третье предположение, что β зависит лишь от числа срочных поездов, обращающихся на данном участке. При таких предположениях зависимость выразится так:

$$\beta n_{ср} = a - bn_{ср}.$$

Применяя к нахождению значений a и b метод наименьших квадратов, получим следующую систему уравнений:

$$na - b\Sigma n_{ср} = \Sigma\beta;\ a\Sigma n_{ср} - b\Sigma n_{ср}^2 = \Sigma\beta n_{ср}.$$

Применяя ее к прежним 16 участкам однопутной линии, получим уравнения:

$$16a - 27b = 10.89;$$
$$27a - 57b = 17.37.$$

Решая их, найдем:

$$a = 0.83,\ b = 0.09.$$

Следовательно, искомая зависимость выразится так:

$$\beta n_{ср} = 0.83 - 0.09n_{ср}.$$

Сопоставляя результаты анализа при трех разных предположениях, получим следующий закон изменения в зависимости от каждого из трех перечисленных выше параметров:

$$\beta\gamma = 1.03 - 0.507\gamma;$$
$$\beta_I = 0.682 - 0.0024I;$$
$$\beta n_{ср} = 0.83 - 0.09n_{ср}.$$

Посмотрим, в каких пределах может колебаться величина β в зависимости от крайних значений для γ, I и $n_{ср}$.

При изменении γ от 0 до 1 величина β будет изменяться от 1.03 до 0.528, т. е. изменение будет равно 49%.

При изменении I от 0 до 1 величина β будет изменяться от 0.682 до 0.68, т. е. изменение будет колебаться в пределах до 0.3%.

При изменении $n_{ср}$ от 0 до 3 величина β будет изменяться от 0.83 до 0.54, т. е. колебание составит 35%.

Отсюда также видно, что наименьшее влияние на величину коэффициента участковой скорости оказывает коэффициент неидентичности и наибольшее влияние — степень заполнения графика. Количество срочных поездов влияет существенно, но значительно менее, чем степень заполнения графика.

Если для тех же 16 участков предположить одновременное влияние всех трех факторов (γ, I и $n_{ср}$), то зависимость коэффициента участковой скорости выразится следующим образом:

$$\beta = 1 - 0.392\gamma - 0.028I - 0.023n_{ср}.$$

Построение этого уравнения также указывает на незначительное влияние I на величину β.

Чем же объяснить такое расхождение теории и практики? Это объясняется двумя причинами:

1) тем, что в один и тот же термин вкладываются разные понятия, и

2) тем, что сам метод научного исследования того или иного явления из области эксплоатации железных дорог сам по себе несовершенен — участок или станция исследуются изолированно, вне связи со всем остальным.

Остановимся несколько подробнее на каждом из указанных пунктов.

Для рассматриваемого нами вопроса имеет значение понятие участковой скорости и коэффициента неидентичности перегонов.

Общеустановлено, как уже указывалось выше, что под технической скоростью разумеется отношение длины тягового плеча в километрах ко времени чистого хода поезда по этому участку, выраженному в часах, т. е. время прохождения поезда от выхода с начальной распорядительной станции участка до момента прибытия на следующую участковую станцию данного плеча, за вычетом всех стоянок по каким бы то ни было причинам на полевых станциях данного тягового плеча.

Математически это выразится так:

$$v_т = \frac{L}{t_0},$$

где L — длина тягового плеча в км,

t_0 — время чистого хода поезда по участку.

(Кстати заметим, что некоторые исследователи ошибочно принимают за среднюю скорость по участку в обоих направлениях $\frac{v_1 + v_2}{2} = v_{ср}$, если v_1 и v_2 — скорости в одном и другом направлении, между тем как в таких случаях скорость по участку в обоих направлениях должна выражаться $\frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = v_{ср}$.)

Некоторые же исследователи дают другую трактовку этому термину, а именно: считают, что техническая скорость — это отношение длины тягового плеча не к чистому времени хода поезда по участку, а к сумме времени чистого хода поезда плюс неизбежные стоянки поезда на полевых станциях на этом тяговом плече, т. е. аналитически это примет следующий вид:

$$v_m = \frac{L}{t_0 + t_m},$$

где t_m — обязательные стоянки поезда по техническим надобностям.

Участковая скорость имеет общепризнанное значение и математически выражается, как было указано выше, в таком виде:

$$v_к = \frac{L}{t_0 + t_c},$$

где t_c — сумма стоянок на полевых станциях на данном тяговом плече.

Учитывая изложенное выше, можно написать:

$$v_к = \frac{L}{t_0 + t_т + t_{ск}},$$

где $t_{ск}$ — сумма стоянок на промежуточных станциях, связанная со скрещением и обгоном поездов, а $t_т$ — попрежнему обязательные стоянки, вызванные техническими причинами (набор воды, чистка топки и т. д.).

В связи с двумя понятиями технической скорости, мы получаем и два разных значения для выражения коэффициента участковой скорости, а именно: при первой, общепризнанной трактовке получим следующее выражение коэффициента участковой скорости:

$$\beta_1 = \frac{t_0}{t_c + t_c}.$$

При второй трактовке для коэффициента участковой скорости получим выражение:

$$\beta_2 = \frac{t_0 + t_т}{t_0 + t_с}.$$

Отсюда следует, что

$$\beta_2 - \beta_1 = \frac{t_т}{t_0 + t_с}.$$

Это показывает, что всегда

$$\beta_2 > \beta_1.$$

Кроме того, ясно, что

$$\frac{\beta_2 - \beta_1}{\beta_1} \cdot 100 = \frac{t_т}{t_0} \cdot 100.$$

В каких же практических пределах может изменяться отношение $\frac{t_т}{t_0}$?

Если возьмем длину тягового плеча в 100 км и предположим, что профиль весьма трудный и что техническая скорость составляет 25 км/час, то $\frac{100}{25} = 4$ час., или 240 мин., а $t_т$ может быть равно 15—20 мин. (одна и две остановки). При таких условиях

$$\frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1} \cdot 100 = \frac{20}{240} \cdot 100 = 8\%.$$

При максимальной скорости $v_т = 50$ км/час, $t_т = 2$ час., или 120 мин.

$$\frac{\beta_2 - \beta_1}{\beta_1} \cdot 100 = \frac{20}{120} \cdot 100 = 17\%.$$

Следовательно, в среднем это отклонение может выразиться в 10—15%, т. е. значение β может колебаться для однопутной линии не в пределах 0.75 — 0.80, как утверждают некоторые, а лишь от 0.65 до 0.70, что и соответствует действительности, как следует из приведенных выше исследований, построенных графиков и отчетных данных.

Коэффициент неидентичности также получает разные значения, в зависимости от того или иного определения. Если возьмем участок, состоящий из n перегонов, причем для прохождения каждого из $n-1$ перегонов требуется

a минут, а труднейший перегон проходится за $a+b$ минут, то по общепризнанному определению и установленной терминологии коэффициент неидентичности примет следующий вид:

$$I = \frac{a}{a+b}.$$

При другой терминологии этот коэффициент будет иметь значение

$$I_1 = \frac{a(n-1) + a + b}{n(a+b)} = \frac{an + b}{n(a+b)}.$$

Отсюда

$$I - I_1 = \frac{a}{a+b} - \frac{an+b}{n(a+b)} = -\frac{b}{n(a+b)},$$

т. е. всегда

$$I < I_1.$$

Кроме того,

$$\frac{I_1 - I}{I} \cdot 100 = 100\,\frac{b}{an}.$$

Для удобства исследования выразим b в функции a и получим: $b = ak$, где k — любое положительное число. При таком положении:

$$\frac{I_1 - I}{I} \cdot 100 = \frac{100\,k}{n}.$$

Придавая разные значения k, получим ряд значений для левой части равенства.

Результаты исследования приведены в следующей табличке и на фиг. 3 (см. стр. 76).

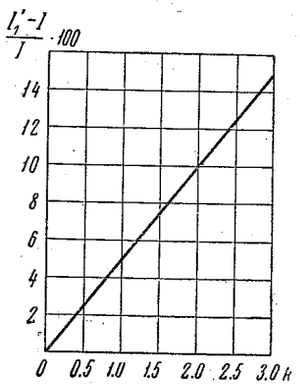
Отсюда следует, что величина коэффициента неидентичности по своей абсолютной величине всегда выше, при общеустановленном его понимании, чем при толковании некоторыми авторами, и процент расхождения в отдельных случаях может быть весьма значителен.

Это является причиной расхождения между утверждениями и выводами некоторых исследователей и действительностью.

Самый метод исследования того или иного явления, применяемый зачастую при анализе эксплоатационных вопросов, является, по существу, несовершенным. Например, при выяснении вопроса о степени влияния на участковую скорость таких факторов, как степень заполнения графика, неидентичность

перегонов, количество обращающихся на участках срочных поездов и т. п., поступали следующим образом. Брали изолированно один, максимум два смежных участка, наносили на них разное количество поездов разных категорий и находили количественные показатели таких графиков: участковую скорость, коэффициент участковой скорости при разной степени наполнения участков и др., и на основании полученных результатов

R	При $n = 20$ $\frac{l_1 - l}{l} \cdot 100$
0	0
0.5	2.5
1.0	5.0
1.5	1.5
2.0	10.0
2.5	12.5
3.0	15.0



Фиг. 3

выводили общее заключение для данного частного случая, после чего эти данные экстраполировали на все случаи жизни.

Этот прием явно неправильный. Рассматривание отдельного участка изолированно, вне связи со всем остальным направлением, ведет к искажению истины, что и оказалось в действительности, как уже было указано выше. Например, неидентичность данного участка не может быть использована так, как указывают некоторые исследователи, потому что для какого-то другого участка, лежащего далеко от данного, нельзя, по чисто местным причинам, использовать указанное преимущество неидентичности. (Например, ст. Харьков ограничивает возможность наивыгоднейшей прокладки поездов с точки зрения интересов Московского узла и т. п.)

Поэтому при исследовании эксплоатационных вопросов никогда нельзя рассматривать работу изолированно, только станции, только участка и т. д., но обязательно нужно рассматривать их во всей совокупности и учитывать все местные и частные особенности работы того или иного агрегата. В научно-исследовательских работах в области эксплоатации нужно итти от частного к общему, обобщать практический материал и выводить общие законы, и только после этого применять их к решению частных задач в соответствии с конкретной производственной обстановкой.

Следующий вопрос, который нужно решить при построении графиков, — это вопрос о числе поездов, накладываемых на графики. Здесь могут быть два случая:

1) когда мощность грузового потока настолько велика, что почти полностью заполняет пропускную способность, и

2) когда число потребных поездов значительно ниже существующей пропускной способности, выраженной числом пар поездов параллельного графика.

Прежде всего нужно решить вопрос, до каких пределов можно заполнять существующую пропускную способность?

Отчетные данные показывают, что при заполнении пропускной способности однопутных линий свыше 80—85 % коэффициент участковой скорости снижается значительно — ниже средне-сетевой, оцениваемой в 0.63. Кроме того, падает весьма сильно и участковая скорость, поэтому наносить число поездов больше 80 % не следует. Если по объему работы требуется прокладывать не такое количество поездов, а меньшее, например, n поездов вместо $n_{\max}$, то нужно еще добавить некоторое количество поездов на случай увеличения размеров движения, положим, k %, т. е. число наносимых на график поездов должно определяться следующим равенством:

$$n\left(1 + \frac{k}{100}\right) \leqslant 0.8 n_{\max},$$

где n — число потребных поездов, определяемое мощностью грузопотока;

k — процент неравномерности;

$n_{\max}$ — максимальная пропускная способность, выраженная числом пар поездов параллельного графика.

Процент k должен быть различным для разных направлений и дорог.

При построении графика может быть два приема, если $n\left(1 + \frac{k}{100}\right)$ значительно меньше $n_{\max}$:

1) можно нанести на график максимальное число поездов (ниток) и из числа нанесенных оставить наиболее приемлемые для данных размеров движения, или

2) нанести на графики наиболее целесообразное число поездов, потребное лишь для удовлетворения данного грузового потока и определенного процента неравномерности.

С практической точки зрения последний прием более целесообразен, так как при этом получается некоторый резерв, заложенный в графике, который можно использовать в случаях нарушения расписания хода отдельными поездами.

Далее, при построении графика необходимо исходить из скорости движения и весовых норм.

В этой области не совсем правильно стремление во всех случаях и направлениях добиваться в современных условиях абсолютной унификации весовых норм. Во многих случаях с точки зрения увеличения пропускной способности, выраженной в тоннах, выгоднее итти на ломку составов в известных пунктах, если только эти пункты по своему техническому оборудованию пригодны для осуществления такой переработки.

Остановимся теперь на вопросе участковой и технической скоростей, закладываемых в графиках.

Практиковавшийся прием, заключающийся в том, что среднюю скорость устанавливают, исходя из определенных предпосылок, по сети в целом, а затем разверстывают ее по дорогам, в корне неправилен. Следует итти обратным путем: установив по каждой дороге вес поездов, на основании конкретных условий работы данной дороги (серии паровозов, род топлива и т. п.), надо определять скорость техническую и участковую для каждой дороги. Учитывая удельный вес каждой дороги в общей работе сети, можно найти правильные скорости по сети в целом.

Могут быть случаи, когда дороги в точности выдерживают заданные скорости, но вследствие изменения удельного веса их в общей работе заданные скорости по сети не выдерживаются. Поэтому при задании каждой дороге скорости и общей скорости по сети в целом нужно указывать, при каком удельном весе работы каждой дороги в общей работе сети эта скорость по сети может быть достигнута.

Заданная скорость по данной дороге тоже может быть достигнута лишь при определенном сочетании между количеством сборных, участковых и транзитных поездов и при определенном соотношении между скоростями указанных категорий поездов.

Указанные соображения нужно иметь в виду при установлении скоростей для отдельных дорог.

Итак, если считать доказанным, что графики доброкачественны, то, естественно, возникает вопрос: почему же они не выполняются в действительности?

Этому вопросу посвящено немало статей в технической литературе и в отдельных докладах, но все же окончательного разрешения он не получил. Причин этого много, остановимся на главнейших из них.

Одна из основных причин невыполнения графиков — несогласованность работы станции и прилегающих участков и несоблюдение на станциях ритма работы, предусматриваемого установленными технологическими процессами работы станции. Например, технологическим процессом работы станции предусмотрено, что через два-три транзитных поезда, проходящих станцию без работы (лишь со сменой паровозов и бригад), один поезд поступает в разборку. Исходя из этого, построен весь план работы станции; в действительности же на станцию прибывают поезда в разборку пачками, по два-три. Станция, не предвидя этого, естественно, нарушает свой обычный план работы, отклоняется от обычного ритма работы и забивается, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Другая причина — несогласованность работы депо, экипировочных устройств и станции и в результате этого — несвоевременная подача паровозов под поезда, что вызывает срыв поезда с графика, нарушение оборота паровозов, бригад и т. д.

В отдельных случаях в графике заложены заведомо неприемлемые времена хода по перегонам (такие случаи наблюдались, к сожалению, на ряде направлений нашей железнодорожной сети). Например, по тяговому расчету необходимое время для прохождения перегона установлено в 14 мин., а фактическое время прохождения по этому перегону равняется 16 мин.; на опытные поездки затрачено 15 мин., в графике указано 12 мин. и т. п.

Все эти факты уже отмечались и не являются чем-то новым, между тем они повторяются и теперь.

Есть еще и другие факты, отрицательно влияющие на выполнение графика: невыполнение плана погрузки по направлениям и по назначению, вследствие чего та или иная нитка графика материально не обеспечивается.

В самом деле, если какая-либо станция не погрузила в таком-то направлении того количества вагонов, которое было предусмотрено планом и отражено в графике, то тем самым она не обеспечила какую-то нитку графика; для этой нитки нет материала, и поезд отправлен не будет.

Таким образом, первоисточниками нарушения графика движения являются нарушения плана погрузки по количеству и роду грузов и по направлениям. На это и нужно в первую очередь обратить внимание, чтобы материально обеспечить преподанный график движения.

Особое внимание следует обратить на техническое состояние паровозов. Чрезвычайно много поездов ежедневно имеют непре-

дусмотренные по графику остановки для чистки топки, для нагона пара, а некоторые поезда останавливаются на перегонах и во многих случаях приходится выводить поезд на станцию по частям, что, естественно, нарушает график движения поездов.

Несмотря на обилие отчетности, все же нет надлежащих данных для анализа причин невыполнения графика; факты констатируются, но вызывающие их причины не анализируются. Так, например, в отчетах встречаются такие записи: «невыдерживание хода по перегону», указывается номер поезда, фамилия машиниста и т. д. А почему это произошло — разъяснений найти нельзя. Между тем, причины этого чрезвычайно разнообразны: неправильно заданные времена хода, техническая неисправность паровоза, неопытность машиниста и т. д. Иногда сама по себе отчетность затушевывает сущность того или иного явления. Например, по существующей отчетности всякий поезд, отправившийся с начальной станции во-время и опоздавший по труднейшему перегону, но впоследствии нагнавший это опоздание и прибывший на конечную станцию участка во-время, считается прибывшим и проследовавшим по участку во-время. Между тем, по существу, это не так. Этот поезд, опоздавший на труднейшем перегоне, нарушил правильность движения сзади идущих поездов (при насыщенном графике) и вызвал их опоздание.

Нужно учитывать движение каждого поезда по каждому перегону отдельно, придавая особое значение правильности движения по труднейшему перегону. Иначе говоря, в отделении должны вести формуляр по каждому поезду, по каждому перегону, тогда будет видно прохождение поезда по участку. По этой отчетности можно выявить, что есть перегоны, на которых опаздывают все машинисты и, наоборот, есть машинисты, которые опаздывают по всем перегонам. В каждом отдельном случае должны быть применены разные меры для устранения указанных дефектов.

Итак, резюмируя все изложенное выше, считаю, что для улучшения дела построения графика и обеспечения его выполнения, необходимо принять следующие меры:

В отношении движения поездов

1) Распределить паровозные парки по сериям в зависимости от виртуала дороги и мощности грузовых потоков.

2) Установить весовые нормы поездов по дорогам и участкам или отдельным линиям и точки перелома весовых норм, если это потребуется.

3) Установить размеры движения в зависимости от мощности потока и принятых весовых норм поездов.

В области единой методологии

1) Дать точные установки для определения расчетного подъема.

2) Дать точные установки, какие коэффициенты сцепления, силы тяги и скорости на расчетных подъемах принять при тяговых расчетах, чтобы было соблюдено единство исходных положений при расчетах.

3) Дать указание о топливном режиме на данной дороге.

В области подготовки построения графиков

1) Дать указание дорогам, какие скорости должны быть заложены на подъемах, площадках и спусках.

2) Проверить поперегонные времена хода и на тех перегонах, которые внушают сомнение и которые давали отклонения от заложенных в ныне действующем графике.

3) Проверить станционные интервалы и привести их в соответствие с требованиями правил технической эксплоатации и с учетом произведенных изменений в схемах раздельных пунктов.

4) Дать указание дорогам, какое количество ниток требуется уложить на графике в зависимости от мощности грузопотоков.

5) Указать технологические процессы работы станции с планом формирования поездов и графиком движения поездов.

6) Дать указание дорогам, какой процент заполнения графика движения можно допустить (какой закладывается резерв).

7) Дать указания, как оценивать качество построения графика: как высчитывать техническую и участковую скорости, коэффициент участковой скорости и в каких пределах должен находиться коэффициент участковой скорости, чтобы график был признан доброкачественным.

Канд. техн. наук Ф. И. Шаульский

ПЕРЕСЕЧЕНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ В ОДНОМ И РАЗНЫХ УРОВНЯХ

Пересечения в одном уровне

Проблема пересечений различных видов путей сообщения приобретает весьма актуальное значение в связи со стремительным развитием сетей отдельных видов транспорта и непрерывным увеличением скоростей движения на них.

Наибольшая концентрация различных видов транспорта возникает в крупных транспортных узлах, что обусловливает наличие большого количества пересечений, как однородных путей сообщения между собой, так и с другими видами транспорта, а также с городскими улицами. Эти пересечения приводят к значительному снижению пропускной способности отдельных видов транспорта, затрудняют движение, а иногда создают пробки и сильно ухудшают условия безопасности движения.

В свете этих задач проектирование транспортных узлов заключается не только в рациональной развязке того или иного пересечения, но и в необходимости планово предусмотреть появление пересечений в будущем, так как каждое неудачно запроектированное или непредусмотренное пересечение может привести в последующем к большим дополнительным строительным и эксплоатационным расходам.

Особую остроту вопрос пересечений приобрел в последние два десятилетия, характеризующиеся сильным увеличением размеров и скорости движения на железнодорожном и автодорожном транспорте.

В Советском Союзе при плановом социалистическом хозяйстве проблема пересечений решается планово. В капиталистических странах, вследствие бесплановости развития отдельных видов транспорта и конкуренции между ними, вопрос пересечений осложнился настолько сильно, что некоторые капиталистические страны предприняли попытки разрешить ее в законодательном порядке. Так, в Германии в 1938 г. был издан специальный закон о правилах пересечения железных дорог с шоссейными. В США издана инструкция по проектированию пригородных дорог, в которой ввиду важности и сложности вопрос пересечений выделяется в особый раздел. Изданы подобные законы и в других капиталистических странах.

Однако особенности капиталистической системы хозяйства (бесплановость, конкуренция и др.) оказываются сильнее законодательных решений. Цифры о количестве пересечений в одном уровне шоссейных и железных дорог, например в США, подтверждают бессилие этих законов; в 1926 г. количество пересечений в одном уровне составляло 233 701 шт., а в 1938 г. — 232 331 шт., т. е. за 12 лет число их осталось почти без изменений, несмотря на множество законов конгресса об их ликвидации.

Основной недостаток пересечений в одном уровне заключается не только в снижении пропускной способности на них, но и в большом количестве происшествий и несчастных случаев. Число убитых при происшествиях на переездах в США составляло за последние годы от 40.3 до 46.67 % от общего числа убитых при движении на железных дорогах. За этот же период количество происшествий на пересечениях железных дорог с автомобильными составило всего 0.5— 1.0 % от общего числа происшествий на автомобильных дорогах, что указывает на тяжелые последствия большей части происшествий на пересечениях в одном уровне.

Полной гарантии безопасности движения пересечения в одном уровне обеспечить, конечно, не могут, так как на них возможны наезды; безопасность движения полностью гарантируется лишь заменой таких пересечений путепроводами. Но заменить все пересечения в одном уровне путепроводами вследствие больших капиталовложений не представляется возможным. Поэтому в наших социалистических условиях приходится в каждом отдельном случае при ликвидации пересечений в одном уровне учитывать условия пропускной способности, скорость движения и условия безопасности движения. При неинтенсивном движении практикуются следующие мероприятия: ограничение числа пересечений, применение автоматической сигнализации, автоматических шлагбаумов и т. п. И лишь в тех случаях, когда пропускная способность исчерпана и безопасность движения не обеспечивается, необходимо переходить к сооружению путепроводов.

Пересечение в одном уровне городских улиц и безрельсовых дорог железнодорожными путями значительно снижает

пропускную способность улиц (дорог), а также скорость движения по ним, в результате чего происходит задержка экипажей и пешеходов у переездов. Продолжительность этих задержек зависит в основном: 1) от средств ограждения переездов (неохраняемый и охраняемый переезды, автоматическая сигнализация, автоматические шлагбаумы и т. п.); 2) от длины поезда.

На неохраняемых переездах, которые допустимы только на линиях с малыми размерами движения, проходящий поезд дает сигнал гудком или сиреной, и водитель машины определяет, достаточно ли у него времени для переезда перед поездом или он должен остановиться у переезда для пропуска поезда.

При интенсивном движении переезды ограждаются заградительными устройствами:

1) шлагбаумами, приводимыми в действие вручную;
2) шлагбаумами с механическим управлением;
3) шлагбаумами автоматического действия;
4) автоматически действующей оптической сигнализацией, иногда в комбинации со шлагбаумами и предупредительной сигнализацией;
5) звуковой сигнализацией — самостоятельной или в дополнении к другим устройствам.

На второстепенных переездах безопасность движения может быть обеспечена автоматической проблесковой мигающей сигнализацией в сочетании с предупредительными сигналами.

На переездах с интенсивным движением проблесковую автоматическую сигнализацию необходимо дополнить автоматически действующими шлагбаумами.

Максимальная пропускная способность переезда теоретически может быть определена по следующим формулам:

$$P = \Sigma N + \Sigma M; \qquad \Sigma N t_{\text{п}} + \Sigma M t_a \leqslant 3600,$$

где ΣN — количество всех поездов, паровозов и передач, пропускаемых через переезд в час;

$t_{\text{п}}$ — время прохода каждого поезда, паровоза или передачи через переезд, в сек.;

ΣM — количество автомобилей и других экипажей, проходящих по переезду в час;

t_a — время занятия переезда автомобилем или экипажем в сек.

Время прохода поезда через переезд может быть определено следующим образом:

$$t_{\text{п}} = \frac{t_p v + \frac{v^2}{2p} + b + l}{v} + t_0 = t_p + \frac{v}{2p} + \frac{b}{v} + \frac{l}{v} + t_0,$$

где $t_p v$ — расстояние, проходимое поездом за время реакции машиниста и приведения в действие тормозов;

$\frac{v^2}{2p}$ — тормозное расстояние (по правилам технической эксплоатации равное 800 м);

p — ускорение или замедление; для пассажирских поездов оно равно 0.25 м/сек², для товарных поездов 0.15 м/сек²;

b — ширина переезда в м;

l — длина поезда в м;

v — скорость движения поезда в м/сек;

t_0 — время, потребное на открытие и закрытие переезда в зависимости от устройств; оно равно: 1) при проблесковой (мигающей) автоматической сигнализации 1—2 сек.; 2) при автоматических шлагбаумах 20 сек. (12 сек. на закрытие шлагбаума и 8 сек. на открытие его); 3) при ручных шлагбаумах 60—120 сек.

С развитием высокоскоростного железнодорожного транспорта вопрос ограждения поездов сильно осложняется, так как скорости пассажирских автомотрис достигают 150—180 км/час, в то время как скорости товарных поездов значительно ниже.

Если педали будут установлены на расстоянии 800 м от переезда, то сигналы при проходе скоростного поезда будут даны за 20 сек., а при проходе товарного поезда — за 180 сек. Такой интервал между моментом подачи сигнала и проходом поезда вызовет значительную задержку автогужевого транспорта. Поэтому при наличии поездов с различными скоростями необходимо применять сигнализацию, позволяющую выдерживать один и тот же интервал во времени между появлением красного сигнала и моментом прохода поезда. Эта задача техникой разрешена.

Зная количество поездов, проходящих через переезд, и их категорию, можно определить общее время занятия переезда в час:

$$T = \Sigma N t_{\text{п}}.$$

Таким образом, свободное время для пропуска автомобилей и других экипажей составит:

$$T_{\text{св/час}} = 3600 - \Sigma N t_{\text{п}},$$

а количество автомобилей (N_a), которое можно пропустить

через переезд за свободное время в одном направлении и по одной полосе, будет равно:

$$N_a = \frac{T_{\text{св/час}}}{cv^2 + t_p v + l} = \frac{(3600 - \Sigma N t_{\text{п}})\, v}{cv^2 + t_p v + l},$$

где cv^2 — тормозной путь автомобиля;

$t_p v$ — путь, проходимый автомобилем за время реакции водителя;

l — длина автомобиля в м;

v — скорость движения автомобиля в м/сек.

Общее время занятия переезда (в секундах) одним поездом при различных скоростях и длине поезда при шлагбаумах ручного управления приведено в табл. 1

Таблица 1

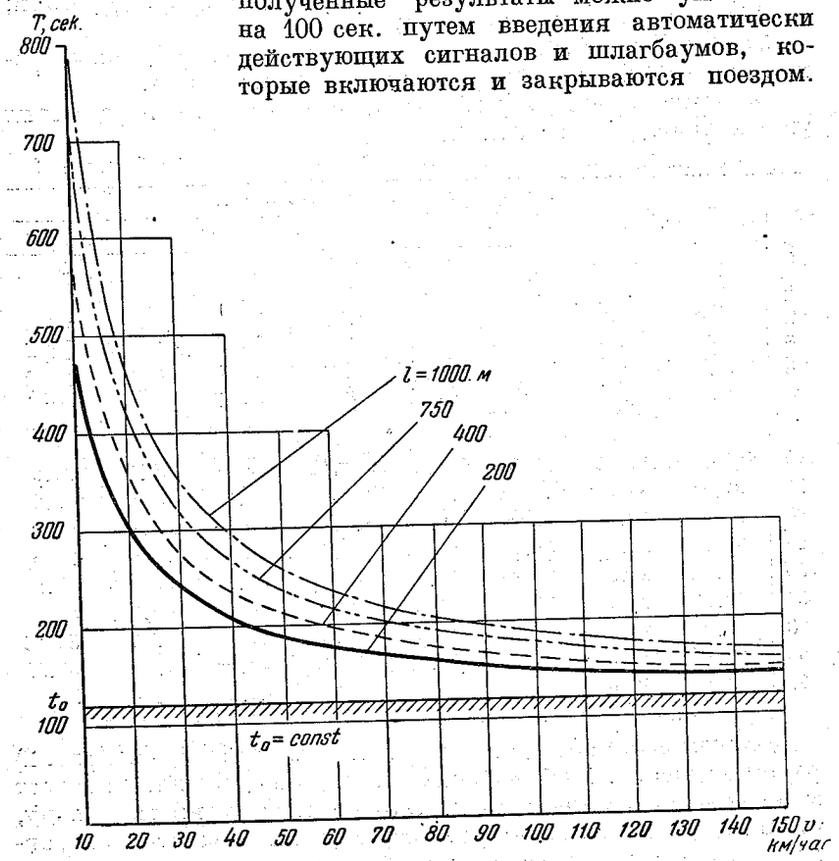
Скорость		Категории поездов и длина их, м			
км/час	м/сек	Пригородный длиной 200 м	Дальний пассажирский	Товарный длиной 750 м	Товарный длиной 1 000 м
10	2.78	478	558	689	775
20	5.55	306	341	406	451
30	8.33	245	269	311	341
40	11.11	213	231	263	284
50	13.0	195	209	230	252
70	19.44	183	195	215	219
80	22.22	167	176	192	203
100	27.77	158	165	177	186
120	33.33	152	158	174	182
150	41.67	142	146	153	158

По данным табл. 1 построены кривые (фиг. 1), по которым также может быть определено время занятия переезда поездами различной категории в зависимости от скорости движения и длины поездов.

Из табл. 1 и кривых фиг. 1 следует, что переезд занимается в зависимости от категорий поездов и скорости их движения не одинаково. Эти величины для указанных способов ограждения переездов и других факторов являются постоянными.

Время занятия переезда возможно уменьшить введением автоматически действующих сигналов и шлагбаумов. Для расчета мы приняли, что переезд с ручным обслуживанием закрыт

на 120 сек.; фактически величина закрытия переездов во многих случаях превышает это время. С другой стороны, полученные результаты можно уменьшить на 100 сек. путем введения автоматически действующих сигналов и шлагбаумов, которые включаются и закрываются поездом.



Фиг. 1. Занятие переезда поездами различной категории

Обоснование устройства пересечений различных видов путей сообщения в разных уровнях

В тех случаях, когда по условиям пропускной способности и регулярности движения затруднительно установить срок перехода от пересечения путей сообщения в одном уровне к пересечению с помощью путепровода, для решения вопроса требуется технико-экономическое обоснование.

Наибольшее значение при сооружении путепроводов имеют следующие элементы:

1) угол пересечения железной дороги с улицами и дорогами;
2) высота опор путепровода;
3) строительная высота фермы, зависящая от длины пролета, материала, типа и конструкции путепровода.

Зависимость длины (в м) путепровода от угла пересечения улицы приведена в табл. 2.

Таблица 2

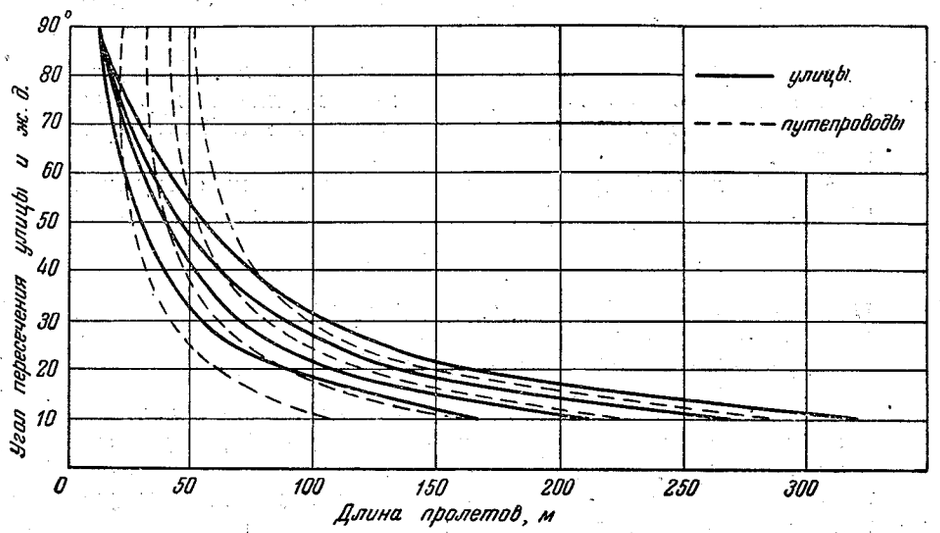
Угол в градусах	Ширина улицы или автодороги, м							
	20		30		40		50	
	Длина перекрытий улицы	Длина путепровода на два ж.-д. пути	Длина перекрытий улицы	Длина путепровода на два ж.-д. пути	Длина перекрытий улицы	Длина путепровода на два ж.-д. пути	Длина перекрытий улицы	Длина путепровода на два ж.-д. пути
10	165.95	111.65	223.5	173.0	272.12	230.00	336.5	288.9
20	91.31	58.5	109.12	87.8	136.62	117.8	163.62	146.2
30	52.90	40.0	70.2	60.0	87.8	80.0	104.8	100.0
40	38.10	31.4	49.9	46.7	61.7	62.25	74.0	78.0
50	28.24	26.3	37.8	39.2	45.3	52.2	53.9	65.2
60	22.70	23.4	27.85	34.6	33.9	46.2	39.3	57.7
70	17.0	21.8	20.45	32.0	24.05	42.6	27.8	53.25
80	13.13	20.02	14.43	30.02	16.18	40.02	17.96	50.02
90	9.10	20.0	9.10	30	9.10	40.0	9.10	50

Длина пролета (по оси путей) при углах от 90 до 40° (фиг. 2) растет медленно. При меньших углах длина пролета начинает стремительно увеличиваться. Однако следует иметь в виду, что в городских условиях угол пересечения зависит от направления улиц, а на автодорогах необходимо учитывать стоимость сооружения подходов и эксплоатационные расходы на перепробеги в результате удлинения подходов.

При благоприятных топографических условиях экономичнее сооружать путепроводы при пересечениях железных дорог автодорогами под прямым или близким к нему углом.

Высота опор путепровода зависит от габарита и строительной высоты проезжей части; высота же проезжей части зависит от длины пролета, материала и конструктивных особенностей путепровода. Общая высота путепровода сильно сказывается на увеличении объема земляных работ при устройстве подходов.

Строительная стоимость путепроводов и подходов к ним. Размер затрат на сооружение путепровода зависит от величины угла пересечения, количества путей, высоты опор, отметок расположения железнодорожных путей (выемка, насыпь или расположение в одном уровне с улицей), класса



Фиг. 2. Длина пролета при углах от 90 до 40°

магистрали, возможных сносов городских построек, стоимости устройства подходов и, наконец, от рода строительных материалов и архитектурного оформления.

В общем виде годовой расход может быть выражен следующей формулой:

$$A_1 = Э_1 + K_р + P_г.$$

Здесь A_1 — приведенный расход в рублях;
$Э_1$ — годовые эксплоатационные расходы в рублях;
$K_р$ — годовая доля расхода на капитальный ремонт, определяемая на основании стоимости капитального ремонта и периода времени, через который производится капитальный ремонт, отношением $\frac{K}{n}$ (K — полная стоимость ремонта, n — число лет между ремонтами);

$P_г$ — годовая доля реновационных отчислений, равных стоимости сооружения заново данного путепровода по истечении полного срока его годности, т. е. $\frac{P}{n_1}$, где P — полная сумма отчислений на реновацию, n_1 — срок службы путепровода.

Расходы, связанные с оплатой содержания персонала, обслуживающего переезд. Расходы по этой группе прямо пропорциональны количеству человек в смене и количеству смен в сутки.

Общий годовой расход можно рассчитать по следующей формуле:

$$A_2 = 12\ bmc,$$

где b — месячный оклад с начислениями,
m — количество человек в смене,
c — количество смен в сутки.

Расходы по сооружению, содержанию и ремонту переезда. В эту группу входят расходы по сооружению будок для сторожей, настила для переезда через рельсы, шлагбаумов, сигнальных и предупредительных фонарей и др. Данные расходы определяются по формуле:

$$A_3 = Э_2 + K'_р + P'_2,$$

где A_3 — расходы по сооружению, содержанию и ремонту переезда в рублях;
$K'_р$ — годовая доля расхода на капитальный ремонт в рублях;
P'_2 — годовая доля реновационных отчислений;
$Э_2$ — годовые эксплоатационные расходы.

Для окончательного установления экономичности сооружения путепровода необходимо, чтобы:

$$A_1 \leqslant A_2 + A_3;$$

$$Э_1 + K_р + P_2 \leqslant 12bmc + K'_р + P'_2 + Э_2.$$

Предлагаемый способ позволяет установить, при каких размерах задержек целесообразно переходить к сооружению путепровода.

Типы пересечений

Все пересечения различных видов путей сообщения в одном уровне можно разделить на две группы:

1) сухопутные пересечения рельсовых, безрельсовых дорог и городских улиц между собой или в каком-либо сочетании;

2) пересечения рельсовым и безрельсовым транспортом водных путей и пространств.

Пересечения сухопутных видов транспорта обусловливаются густотой сети, требованиями пропускной способности и условиями безопасности движения, т. е. могут быть и в одном и в разных уровнях. Эти пересечения, в свою очередь, подразделяются на следующие категории:

1) пересечения железных дорог между собой и с другими рельсовыми путями;

2) пересечения железных дорог с грунтовыми и усовершенствованными автогужевыми дорогами;

3) пересечения безрельсовых дорог и городских улиц между собой;

4) пересечения смешанные и совмещенные;

5) пересечения рельсовых и безрельсовых путей пешеходными путями (дорожками).

Пересечения сухопутных видов транспорта с водными вызываются физико-географическими условиями и могут быть надземными (мосты, эстакады, акведуки) или подземными (тоннели).

При необходимости пересечения железными или безрельсовыми дорогами рек крайне важен правильный выбор места сооружения моста.

Наилучшим решением является сооружение моста перпендикулярно к течению реки, с надлежащим определением расчетного горизонта воды, для обеспечения безопасного пропуска сооружением высоких паводков и ледохода, без подмыва и повреждения опор. Для снижения расходов по сооружению моста нужно стремиться пересекать реки в узких местах с высокими и устойчивыми берегами. На судоходных реках подмостные габариты должны обеспечивать свободный пропуск судов.

При пересечении железными дорогами глубоких судоходных рек сооружение моста обходится дорого и опоры могут стеснять движение судов. В этих случаях реки иногда пересекаются тоннелями.

При сооружении судоходных каналов иногда оказывается выгодным поднять канал над железнодорожными или безрельсовыми путями при помощи акведуков. Так, например, осуще-

ствлено пересечение акведуком Волоколамского шоссе на канале им. Москвы.

Пересечение озер, заливов, бухт представляет большие трудности и обычно осуществляется при помощи дамб, эстакад или мостов. Эти сооружения могут быть экономически целесообразными потому, что они значительно сокращают длину пробегов транспорта.

Пересечения рельсовых дорог между собою. Каждая вновь сооружаемая железнодорожная линия обычно неоднократно встречается с уже существующими рельсовыми и безрельсовыми путями.

При пересечении железных дорог на перегоне (без взаимного перехода) новая железнодорожная линия может проходить над существующей под углом в 90°. При таком пересечении требуются наименьшие затраты на сооружение путепровода (проезжей части, устоев и т. п.).

Однако в случаях, когда должен быть обеспечен переход с одной железнодорожной линии на другую при взаимной корреспонденции, экономия от сооружения путепровода под углом в 90° будет потеряна в результате сооружения более сложных и удлиненных путей подходов. Кроме того, наличие такого сооружения создает неблагоприятные условия для эксплоатации, увеличивая пробег поездов.

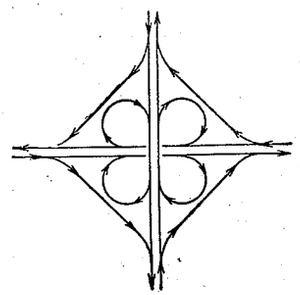
Для снижения эксплоатационных и строительных расходов такие пересечения рекомендуется сооружать под острыми углами, имея, однако, в виду, что уменьшение угла пересечения усложняет конструкцию и удорожает стоимость сооружения путепровода. Поэтому при пересечениях железных дорог между собой, при взаимной корреспонденции, у нас приняты стандартные углы пересечения в 30, 45 и 60°.

Для устройства пересечений рельсовых и безрельсовых путей в разных уровнях необходимо выбирать соответствующие точки, благоприятно используя рельеф местности. Наилучшие решения возможны, когда железная дорога проходит в выемке или в насыпи на полную высоту габарита, так как при этом будут минимальные расходы на сооружение путепроводных подходов, причем угол пересечения по возможности должен быть около 90°.

В тех случаях, когда новая железнодорожная линия пересекает безрельсовые дороги под острыми углами, при сооружении путепровода возможен в некоторых случаях отвод безрельсовой дороги таким образом, чтобы ось ее пересекалась железной дорогой примерно под прямым углом.

Весьма существенно при сооружении путепровода создание переездов в районе расположения путепровода.

Пересечение железнодорожных путей с городскими улицами является актуальным вопросом в правильной организации городского транспорта и в развитии города. В тех случаях, когда железнодорожная линия пересекает улицы в одном уровне, она разрезает город на части и связь между ними затрудняется. Наиболее совершенным приемом в ликвидации отмеченных недостатков является пересечение железных дорог путепроводами через все пересекаемые улицы, над ними или под ними, в зависимости от местных условий. Такое решение хотя и применяется в практике, но сопряжено с большими капитальными затратами. Поэтому заслуживает особого внимания метод, заключающийся в том, что путепроводы создаются не для каждой улицы, а вдоль железнодорожной линии прокладываются городские улицы, по которым все движение выводится с тупиковых улиц на путепроводы.



Фиг. 3. Развязка потоков автомашин

Пересечение безрельсовых дорог в разных уровнях. При проектировании дорог и улиц современными методами с переносом пересечения в разные уровни устраняется вредное влияние пересечений. Способы устранения пересечений в одном уровне зависят от класса дорог и от корреспонденции между ними. Если две пересекающиеся улицы не имеют корреспонденции друг с другом, то пересечения под углом в 90° являются наиболее простыми, не требуют больших капитальных затрат и занятия площадей под сооружение развязок.

В случае, когда между направлениями *AB* и *CD* существует взаимный переход автомашин, применяется схема пересечения, которая получила название «клеверный лист».

Движение на пересечении типа «клеверного листа» происходит без пересечения транспортных потоков и осуществляется следующим образом. По взаимнопересекающимся основным направлениям потоки автомашин развязаны путепроводом (фиг. 3). Левые повороты производятся по кольцевой рампе, автомобиль следует под уклон или на подъем и выходит на требуемое направление. Правые повороты осуществляются по соединительным дорожным полосам, проходящим в виде касательных к кольцевым пандусам.

Положительным качеством пересечения «клеверный лист» является то, что все движение на соединениях — одностороннее, при полной изоляции потоков и отсутствии пересечений потоков движения. К недостаткам такого пересечения относится большая стоимость сооружения и значительная площадь, занимаемая сооружением.

Ввиду того, что развязка «клеверный лист» занимает большую территорию, весьма важно выбрать основные технические параметры для ее проектирования.

Если применить методику проектирования железнодорожных развязок, где требуется выдержать те же условия, что и на магистрали, т. е. руководящие уклоны и минимально допустимые радиусы, то нужно было бы выполнять и на автомагистральных развязках такие же требования.

Следует отметить, что основные технические параметры пересечений автомагистралей в разных уровнях находятся в противоречии со скоростью движения и экономикой сооружения. При небольших радиусах кривых пересечений в разных уровнях реализовать расчетные скорости в 120—160 км/час не представляется возможным. Если же принять магистральные радиусы кривых, то территория, занимаемая пересечением, и строительные расходы по сооружению резко увеличатся. Вследствие этого, как показали исследования, наиболее целесообразным радиусом является радиус от 50 до 100 м. На развязках, сооруженных с такими радиусами, приходится снижать скорость движения.

В больших городах рост числа автомобилей и размеров движения привели к затруднениям в транспорте и к увеличению количества несчастных случаев. Поэтому на перекрестках улиц с интенсивным движением стали сооружать развязки в разных уровнях. В Москве такое пересечение сооружено на улице Горького с подходом к Белорусскому вокзалу, а также на набережных реки Москвы, в местах пересечения последней мостами. Кроме этого, предусмотрены пересечения в разных уровнях основных магистралей с Садовым кольцом.

Для обеспечения безопасности перехода пешеходов через городские улицы и улучшения условий движения городского транспорта для пешеходов создаются внеуличные переходы. Они бывают подземные и надземные.

Устройство пешеходных мостиков нашло чрезвычайно большое распространение для переходов пассажиров на железнодорожных станциях через железнодорожные пути. В городских условиях пешеходные мостики применяются сравнительно редко. Это объясняется следующим:

1) пешеходам приходится затрачивать много сил и времени для подъема на высоту в 5.5—7.4 м;

2) пользование пешеходными мостиками затрудняют неблагоприятные условия погоды, особенно снегопады и гололедица;

3) при большой ширине улиц возникают трудности в создании однопролетных пешеходных мостиков, а многопролетные мостики затрудняют движение по улицам.

На основе анализа пересечений дорог в разных уровнях приходим к следующим выводам:

1. На переездах с неинтенсивным движением безопасность движения необходимо обеспечивать стадийно, т. е. постепенно вводя автоматически действующую сигнализацию и, по мере увеличения движения, дополнять ее автоматически действующими шлагбаумами и т. п.

2. При пересечениях железных дорог между собой на перегонах и при отсутствии взаимной связи направлений пересечения следует давать под прямыми углами, так как в этих случаях конструкция путепровода проще и строительные затраты на его сооружение меньше. Однако следует не только решать вопрос о конструкции путепровода и о строительных расходах на его сооружение, но учитывать также и подход, выбирая наиболее благоприятный угол пересечения.

3. При переходе движения с одной железнодорожной линии на другую необходимо выбирать оптимальный угол пересечения, так как с уменьшением угла пересечения длина пролетов путепроводов значительно увеличивается, а это приводит к дополнительным капитальным затратам. При углах, близких к прямому, строительные затраты на сооружение путепровода будут минимальными, но увеличиваются затраты на сооружение подходов, а также эксплоатационные расходы, вызванные излишними пробегами поездов.

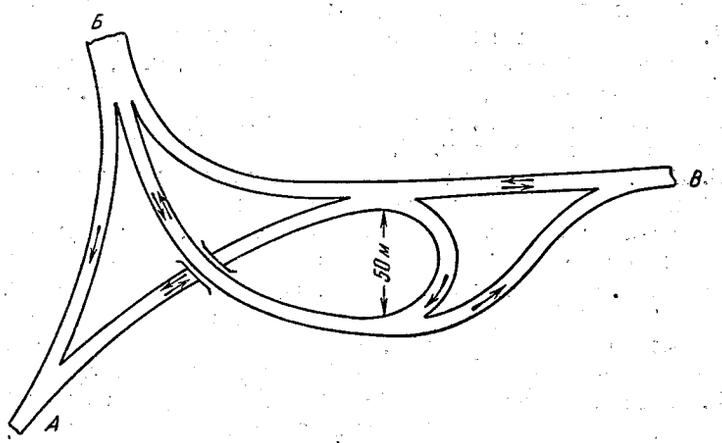
4. При устройстве пересечений железнодорожных линий и автодорог следует выбирать место сооружения путепровода или в выемке на полную высоту габарита или в насыпи такой же высоты. Подобное решение избавит от дорогостоящих работ по сооружению подходов к путепроводам.

Угол пересечения дорог должен быть прямым или близким к нему. Иногда условия сооружения подходов заставляют отказываться от этого и выбирать наиболее оптимальный угол.

5. При планировке и реконструкции городов необходимо вдоль железнодорожных путей предусматривать широкие магистральные улицы, на которые возможно будет вывести городские улицы тупиками, а затем через каждые 500—700 м, в случае необходимости, через железную дорогу сооружать путепроводы.

Такое решение значительно сократит расходы по сооружению путепроводов.

6. Пересечение трамвайных путей с железнодорожными, как правило, необходимо осуществлять в разных уровнях. При этом высота и ширина габаритов под путепроводами должна быть принята железнодорожная, что позволит, в случае надобности, перевозить грузы по городской рельсовой сети в железнодорожных вагонах.



Фиг. 4. Развязка с одним путепроводом

7. При пересечениях между собой двух автострад, при взаимной корреспонденции и интенсивном движении, рекомендуется сооружать развязки по типу «клеверный лист». Для уменьшения площади, занимаемой этим сооружением, радиус пандусов должен был принят не более 100 м. При Т-образном примыкании к автостраде по экономическим соображениям целесообразно применять развязку с одним путепроводом (фиг. 4).

8. В целях единства габарита высоту в свету под путепроводами и ширину следует унифицировать. Единство габаритов весьма важно при комплексном использовании для перевозок различных видов транспорта. Желательно иметь железнодорожный габарит.

9. При сооружении мостов необходимо предусматривать под береговыми опорами пропуск улиц, автомобильных дорог и железнодорожных веток. В некоторых случаях проезжую часть по мосту необходимо сооружать, как на переездах, т. е.

предусматривать пропуск, кроме железнодорожного транспорта, также и автомобильного.

Проблему пересечений в разных уровнях необходимо решать путем изыскания наиболее эффективных конструкций, иногда заменяя металл и железобетон деревом, создавая в первую очередь постройку нешироких путепроводов, которые в последующем можно расширить. Правильно выбранное решение и конструкция позволят в будущем по мере необходимости улучшать эти путепроводы.

Канд. техн. наук А. И. Дегтерев

ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ

Как при проектировании железнодорожных линий, так и при восстановлении и реконструкции существующих необходимо всесторонне исследовать факторы, влияющие на возможные размеры провозной способности. Такими факторами являются: число путей, руководящий подъем, тип локомотива, размещение раздельных пунктов, устройства СЦБ, способы организации движения, род тяги и т. д.

Для анализа влияния этих факторов на техническую мощность железнодорожных линий и для установления расчетных значений ее по этим основным параметрам необходимо произвести большое количество расчетов. Обычные аналитические расчеты очень трудоемки и неизбежно приводят к резкому сокращению числа рассматриваемых расчетных комбинаций. Для облегчения расчетов и обеспечения возможности быстрого и наглядного выполнения их в настоящей статье излагается графический способ.

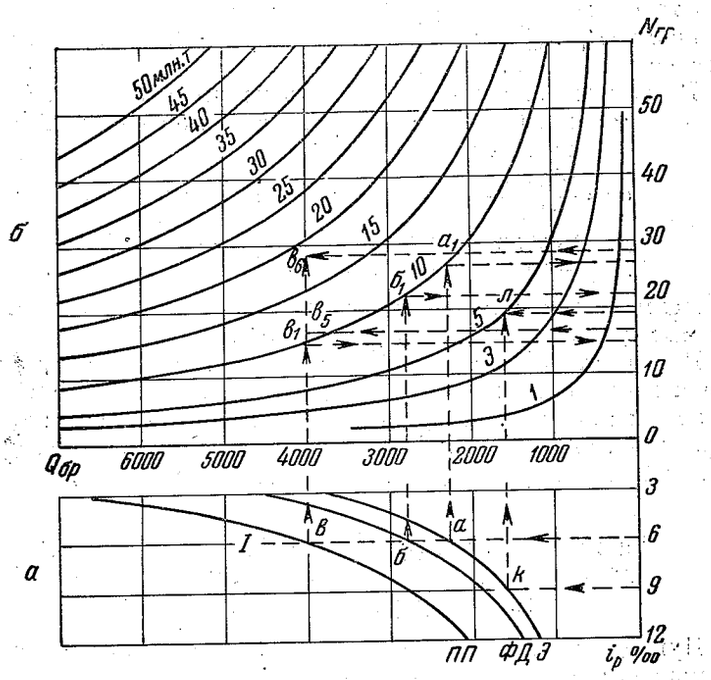
Приводимое ниже графическое изображение взаимосвязи основных элементов железнодорожной линии построено для однопутных линий. То же может быть сделано и для двухпутных линий.

Зависимость между весом состава и руководящим подъемом

Зависимость между весом состава $Q_{бр}$ и величиной руководящего подъема $i_р$ определяется по общеизвестной формуле:

$$Q_{бр} = \frac{F_к - P(w_0' + i_р)}{w_0'' + i_р}, \qquad (1)$$

где $F_к$ — касательная сила тяги локомотива в кг;
P — полный вес локомотива в т;
w_0' — удельное сопротивление локомотива как повозки в кг/т;
$i_р$ — величина расчетного подъема (с учетом кривой) в кг/т;
w_0'' — удельное сопротивление вагонов в кг/т.



Фиг. 1. Провозная способность в зависимости от типа локомотива и величины руководящего подъема

Подсчитав по этой формуле веса составов при различных величинах руководящих подъемов для различных локомотивов, получим семейство кривых (фиг. 1, *а*), дающих возможность переходить от любого значения подъема к величине веса состава при данном типе локомотива. На этом графике ось ординат для удобства последующих построений направлена вниз.

Зависимость провозной способности железнодорожной линии от числа пар поездов в сутки и веса состава

Формула, определяющая провозную способность железнодорожной линии в год, такова:

$$\Gamma_{\text{нетто}} = \frac{365}{\gamma}\alpha \cdot Q_{\text{бр}}\ N_{\text{гр}}. \qquad (2)$$

Эта формула устанавливает зависимость провозной способности ($\Gamma_{\text{нетто}}$) от числа пар поездов ($N_{\text{гр}}$) в сутки и от веса состава ($Q_{\text{бр}}$).

В этом выражении для нашего примера приняты:

γ — коэффициент внутригодовой неравномерности перевозок;

$\alpha = \frac{Q_{\text{нетто}}}{Q_{\text{бр}}}$ — отношение веса поезда нетто к весу поезда брутто, равное для средних условий 0.70.

$N_{\text{гр}}$ — число пар грузовых поездов в сутки.

Величины γ и α различны для различных линий. Для средних условий мы принимаем $\gamma = 1.05$ и $\alpha = 0.70$.

В соответствии с принятыми значениями коэффициентов γ и α построены кривые $\Gamma_{\text{нетто}} = f(Q_{\text{бр}}$ и $N_{\text{гр}})$, определяющие возможную провозную способность однопутной железнодорожной линии в зависимости от изменения веса поезда $Q_{\text{бр}}$ и количества пар поездов в сутки $N_{\text{гр}}$ (фиг. 1, *б*).

Зависимость между провозной способностью, руководящим подъемом, типом локомотива и пропускной способностью

Приведенные выше графики построены так, что они дают возможность объединить их в один (фиг. 1, *а* и *б*), благодаря тому, что по оси абсцисс отложены веса составов $Q_{\text{бр}}$. Такое объединение позволяет решать целый ряд задач по переходу от заданного расчетного подъема и типа локомотива к требуемой пропускной способности при заданной провозной способности или же по определению возможной провозной способности при заданной реальной пропускной способности, величине расчетного подъема и типа локомотива. Пользуясь этим графиком, можно установить, каким типом локомотива и на каком расчетном уклоне можно овладеть заданной провозной способностью при заданной же пропускной способности, а также решать и другие задачи.

Зависимость между пропускной способностью однопутной линии и временем хода пары поездов по труднейшему перегону

Пропускная способность железнодорожной линии при параллельном графике, как известно, определяется по формуле:

$$N_{\max} = \frac{1440}{T_{\text{п}}} \qquad (3)$$

и выражает зависимость между числами пар поездов в сутки $N_{\max}$ и периодом графика $T_{\text{п}}$.

Величина периода графика, выражаемая в общем виде формулой:

$$T_{\text{п}} = t_{\text{т}} + t_0 + t_{\text{р.з.}} + t_{\text{ст}}, \qquad (4)$$

зависит от времени хода пары поездов по труднейшему перегону ($t_{\text{т}} + t_0$), величины времени на разгон и замедление ($t_{\text{р.з.}}$) и станционного интервала ($t_{\text{ст}}$), изменяющегося с изменением способов организации движения.

Из формул (3) и (4) путем некоторого преобразования получим:

$$t_{\text{т}} + t_0 = \frac{1440}{N_{\max}} - (t_{\text{р.з.}} + t_{\text{ст}}). \qquad (5)$$

При определенной величине времени на разгон и замедление ($t_{\text{р.з.}}$), определенных способах построения графика и организации движения могут быть построены кривые зависимости пропускной способности от времени хода пары поездов по труднейшему перегону

$$N_{\max} = f(t_{\text{т}} + t_0). \qquad (6)$$

При парном пакетном графике пропускная способность определяется по формуле:

$$N_{\max} = \frac{1440C}{T_{\text{п}} + 2I(C-1)}. \qquad (7)$$

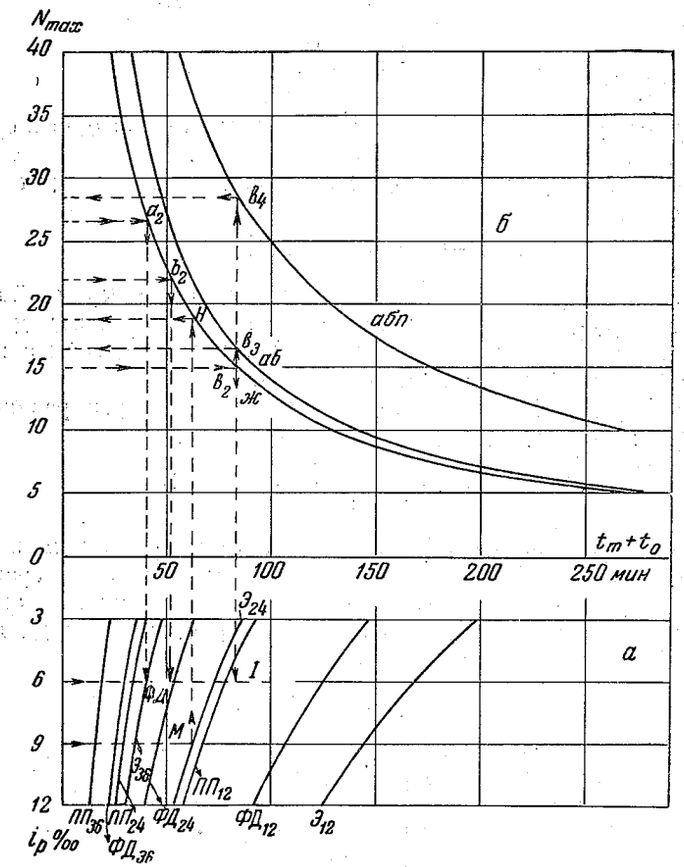
При определенном количестве поездов в пакете (C) и при величине межпоездного интервала (I), зависящего главным образом от способа организации движения, величина чистого времени хода пары поездов по трудному перегону будет равна:

$$t_{\text{т}} + t_0 = \frac{1440C}{N_{\max}} - [t_{\text{р.з.}} + t_{\text{ст}} + 2I(C-1)]. \qquad (8)$$

Из этой формулы находим:

$$N_{max} = f(t_т + t_0). \qquad (9)$$

Таким образом, представляется возможным изобразить графически зависимость пропускной способности от времени



Фиг. 2. Пропускная способность в зависимости от величины руководящего подъема типа локомотива, условной парности и способов поездных сношений

хода пары поездов по труднейшему перегону при различных устройствах СЦБ и различных типах графика.

На фиг. 2, *б* показана эта зависимость. По ней можно установить требуемую величину времени хода пары поездов

по труднейшему перегону при любой заданной пропускной способности, различных устройствах СЦБ и типах графика.

Зависимость времени хода пары поездов по труднейшему перегону от протяжения лимитирующего перегона и руководящего подъема

Зависимость между чистым временем хода пары поездов и длиной лимитирующего перегона можно выразить формулой:

$$t_т + t_0 = l_р t'_к, \qquad (10)$$

где $l_р$ — длина лимитирующего перегона,
$t'_к$ — среднее время прохода 1 км по лимитирующему перегону.

Длина лимитирующего перегона $l_р$ может быть представлена в виде:

$$l_р = \frac{\frac{1440}{N_{усл}} - (t_{р.з.} + t_{ст})}{t'_{усл}}, \qquad (11)$$

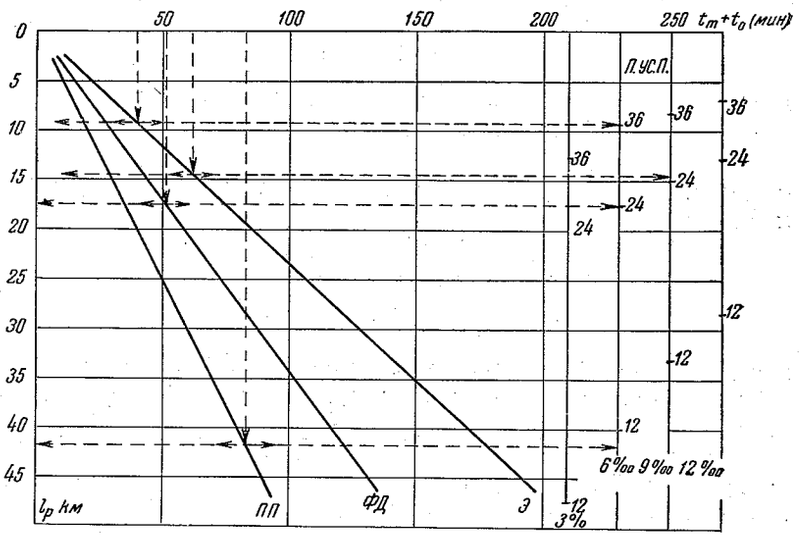
где $N_{усл}$ — число пар условных поездов (12, 24, 36);
$t'_{усл}$ — среднее время прохода парой условных поездов 1 км лимитирующего перегона.

Лимитирующий перегон предполагается состоящим из сплошного руководящего уклона.

Числитель в формуле (11) выражает время хода пары поездов по труднейшему перегону условным поездом. Величина $t'_{усл}$ зависит от руководящего подъема, а следовательно, длина лимитирующего перегона является функцией руководящего подъема $l_р = f(i_р)$. Так как величина $t'_к$ — время прохода в обе стороны 1 км лимитирующего перегона — зависит от типа паровоза, то $t'_к$ является функцией типа локомотива.

Подсчитав длину лимитирующего перегона при различных значениях руководящего подъема и различной парности, а также время хода 1 км парой поездов, возможно найти зависимость этого времени от руководящего подъема при различных типах локомотивов и различном числе пар условных поездов. Эта зависимость представлена на фиг. 2, *б*, где по оси ординат нанесено время хода пары поездов по лимити-

рующему перегону, подсчитанное по ТУП 1941 г., а по оси абсцисс — величины руководящих подъемов. Кривые, обозначенные $Э_{12}$, $ФД_{12}$, $ПП_{12}$, $Э_{24}$, $ФД_{24}$, $ПП_{24}$, $Э_{36}$, $ФД_{36}$ и $ПП_{36}$, показывают характер изменения лимитирующего перегона при различных типах локомотива и количествах пар условных поездов. Буквами обозначены типы локомотивов (Э, ФД и ПП — перспективный паровоз), цифрами — количество пар условных поездов.



Фиг. 3. Зависимость чистого времени хода поезда от длины лимитирующего перегона, типа локомотива и числа пар условных поездов

По формуле (10) можно также найти зависимость чистого времени хода от длины лимитирующего перегона при различных типах локомотива. Эта зависимость показана на фиг. 3.

Из формулы (11) получаем значения длины лимитирующего перегона ($l_р$) при различных числах пар условных поездов на рассматриваемых подъемах.

Полученные величины переносим на вертикальные шкалы, расположенные в правой стороне фиг. 3. Эти номографические шкалы служат для нахождения парности при различных значениях подъемов и устанавливают границы парности.

Зависимость пропускной способности железнодорожной линии от величины руководящего подъема, типа паровоза, размещения раздельных пунктов, способа организации движения и типа графика

В графиках на фиг. 2, *а* и *б* общей осью является ось абсцисс, на которой отложены величины времени хода. Благодаря этому можно объединить оба эти графика в один, как и сделано на фиг. 2.

Пользуясь данным графиком, можно по заданному руководящему подъему, типу локомотива, способу организации движения и типу графика определить пропускную способность при заданном числе условных поездов, или же по заданным N_{max}, способу поездных сношений, типу графика можно найти величину руководящего подъема при определенном типе локомотива и количестве пар условных поездов, а также решать другие задачи. Если в этом графике нижнюю часть его заменить графиком, изображенным на фиг. 3, то можно определять также величину труднейшего перегона.

Графическое изображение овладения перевозками на железнодорожных линиях

Рассматривая графики фиг. 1 и 2, видим, что на ординатах их отложены одни и те же величины. На основании этого возможно объединить оба графика в один, как показано на фиг. 4.

Недостатком данного графика является невозможность получения по нему величины лимитирующего перегона. Этот недостаток может быть устранен, если на фиг. 4 правый нижний квадрант заменить графиком с фиг. 3.

Для того чтобы можно было пользоваться графиком фиг. 4 в тех случаях, когда необходимо находить возможные грузообороты, с учетом резерва пропускной способности и нетоварного движения, применен метод переходного масштаба, заключающийся в следующем.

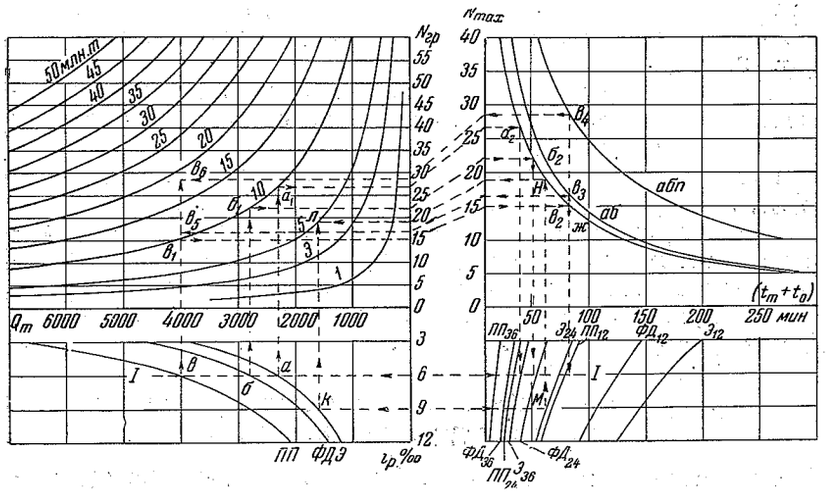
Если резерв пропускной способности учитывать коэффициентом $(1+p)$, то максимальное число пар поездов в сутки будет равно:

$$N^{p}_{max} = \frac{N_{max}}{1+p}, \qquad (12)$$

где N^{p}_{max} — наибольшее число пар поездов с учетом резерва составляется из фактического числа пар грузовых поездов ($N^{ф}_{гр}$) и числа пар пассажирских и сборных поездов ($N_{нетов}$).

Какова бы ни была величина нетоварного движения, она может быть выражена процентом к $N^{p}_{\max}$, т. е. величина нетоварного движения может быть выражена $\beta N^{p}_{\max}$. Тогда

$$N_{\max} = N^{\Phi}_{\text{гр}} + \beta N^{p}_{\max}.$$



Фиг. 4. Номограмма овладения перевозками

Отсюда

$$N^{\Phi}_{\text{гр}} = N^{p}_{\max} - \beta N^{p}_{\max} = (1 - \beta)\, N^{p}_{\max} \qquad (14)$$

или, в соответствии с формулами (12) и (14),

$$N^{\Phi}_{\text{гр}} = \frac{(1-\beta)}{(1+p)} N_{\max}.$$

Тогда, принимая масштаб $N_{\max} = 6$ мм, что соответствует одной паре поездов в сутки, и $(1 + p) = 1.2$; $(1-\beta) = 0.8$, получим масштаб для $N^{\Phi}_{\text{гр}} = 4$ мм, как принято в предлагаемом графике.

Придавая различные значения β, можно получить соответствующие масштабы $N^{\Phi}_{\text{гр}}$, которые могли бы быть нанесены на предлагаемый график; но в данном случае, чтобы не затемнять чертежа, это не сделано.

При помощи графика фиг. 4 можно легко проанализировать влияние величины руководящего подъема, типа локомотива,

расчетной нормы размещения раздельных пунктов, устройств СЦБ и прочих факторов на пропускную способность железной дороги, и, наоборот, при заданной провозной способности можно подобрать для того или иного значения руководящего подъема или необходимый тип локомотива, или устройство СЦБ и способы организации движения поездов, или расчетные нормы размещения раздельных пунктов.

Кроме того, предлагаемый график дает возможность производить самые разнообразные расчеты по овладению перевозками. Рассмотрим на примере способ пользования предлагаемым графиком (фиг. 4).

Положим, требуется определить величину возможного грузооборота по заданному руководящему подъему (9 ‰), размещению раздельных пунктов (24 пары условных поездов), серии паровоза (Э) и способу поездных сношений (электро-жезловая).

Для получения искомого грузооборота найдем прежде всего на оси $i_р$ (на фиг. 4) заданный руководящий подъем ($9°/_{oo}$). Из соответствующей точки проведем в первом квадранте прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой $Э$ в точке K, от нее — во втором квадранте прямую, параллельную оси ординат. Одновременно от точки $9°/_{oo}$ в четвертом квадранте на прямой, параллельной оси абсцисс, найдем пересечение с кривой $Э_{24}$ точку M. Проведем прямую, параллельную оси ординат, до пересечения в третьем квадранте с кривой $Ж$ в точке H и, наконец, проведем прямую от точки H параллельно оси абсцисс до пересечения с линией масштабов $N_{\max}$. Отсюда переходим на ту же величину шкалы масштаба $N_{\text{гр}}$, как показано стрелкой. От этой точки проведем прямую, параллельную оси абсцисс во втором квадранте до пересечения с прямой, проведенной ранее из точки K; получим точку $Л$ пересечения двух взаимноперпендикулярных прямых. Эта точка $Л$ и определит величину искомого грузооборота.

Из графика фиг. 4 следует, что один и тот же грузооборот может быть освоен при определенном руководящем подъеме с помощью того или иного вооружения.

Рассмотрим возможные вариации вооружения при освоении грузооборота 10 млн. т на железной дороге с руководящим подъемом в $6°/_{oo}$.

Для этого проведем на фиг. 4 в квадрантах I и IV прямую, параллельную оси абсцисс (I—I) через точку, показанную на масштабе $6°/_{oo}$. Эта прямая пересечет в первом квадранте кривые $Э$, $ФД$ и $ПП$ в точках $а$, $б$ и $в$, которые снесем на кривые грузооборота 10 млн. т квадранта II и получим точки пересечения $а_1$, $б_1$ и $в_1$. Проведя из этих точек прямые,

параллельные оси абсцисс, определим величины $N_{гр}$, как показано на графике стрелками.

Проводя далее прямые, параллельные оси абсцисс, получим пересечения с кривой $Ж$, соответственно в точках a_2, $б_2$ и $в_2$. Проведя из этих точек прямые, параллельные оси ординат, до пересечения с прямой $I—I$, определим, какая требуется парность при том или ином сооружении. В результате получим, что освоение грузооборота в 10 млн. т на 6‰ подъема возможно:

1) при паровозе Э и жезловом способе сношений; для этого потребуется размещение раздельных пунктов на 36 пар условных поездов. Количество пар фактических грузовых поездов составит 17.8;

2) при паровозе серии ФД и жезловой системе; для освоения 10 млн. т грузооборота на том же подъеме потребуется размещение раздельных пунктов на 24 пары условных поездов;

3) при перспективном паровозе (ПП) и при жезловой системе; при этом возможно овладеть грузооборотом в 10 млн. т на 6‰ подъеме при размещении раздельных пунктов 12 пар условных поездов.

В случае применения автоблокировки провозная способность увеличивается примерно на 10%, а при пакетном графике — значительно больше.

Таким образом, при помощи графика фиг. 4 возможно решать различные задачи, как то:

1) определять возможный грузооборот по заданным постоянным устройствам и вооружению;

2) по заданному грузообороту и постоянным устройствам определять потребное вооружение;

3) устанавливать, какой эффект может дать применение более мощных паровозов, более совершенных способов поездных сношений и пакетного типа графика, а также сближение раздельных пунктов, и другие задачи.

Описанный выше графический метод дает возможность произвести анализ резервов провозной способности и условий овладения перевозками для очень большого числа расчетных комбинаций. При этом возможно всестороннее исследование влияния ряда факторов на возможные размеры провозной способности железных дорог. Так, в частности, для установления расчетных градаций мощности железных дорог можно исследовать влияния руководящего уклона, устройства СЦБ, способов организации движения поездов, рода тяги, типа локомотивов и других условий на возможные резервы провозной способности железных дорог.

Для всестороннего решения этого рода вопросов необходимо также установить взаимодействие указанных факторов в различном их сочетании путем выбора наиболее целесообразных этапов последовательного усиления железных дорог по мере нарастания перевозок.

Необходимо отметить, что число различных комбинаций по тем или иным устройствам, средствам технического вооружения и способам организации движения поездов в сочетании с разными вариациями по расчетным размерам перевозок и динамике их роста настолько значительно, что количество их исчисляется не сотнями, а тысячами. Очевидно, что обычные аналитические расчеты привели бы все это исследование к столь высокой его трудоемкости, когда неизбежно было бы резкое сокращение числа рассматриваемых расчетных комбинаций, благодаря чему могли бы получаться неправильные выводы.

Предлагаемая номограмма значительно упрощает и ускоряет решение этих трудоемких задач, сокращая время подсчетов, что дает возможность при анализе овладения перевозками не ограничивать число вариантов и тем самым обеспечивает правильное исследование вопроса.

Проф. Л. В. Канторович и доц. М. К. Гавурин

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ВОПРОСАХ АНАЛИЗА ГРУЗОПОТОКОВ

Предметом данной статьи является изложение новых, более совершенных и универсальных методов решения некоторых вопросов математического характера, связанных с рационализацией грузопотоков. Несмотря на большую работу, проведенную работниками железнодорожного транспорта по ликвидации нерациональных перевозок, проблема рационализации грузопотоков продолжает оставаться актуальной.

В одних случаях (встречные перевозки) возможности уменьшения затрат на транспорт видны непосредственно, в других случаях возможность уменьшения затрат связана с довольно сложным и сразу неочевидным перемещением грузопотоков, а потому может остаться незамеченной и неиспользованной.

Первая задача (задача А), которая рассматривается ниже, — организация наиболее рациональной перевозки однородного груза от пунктов производства к пунктам потребления. При этом объемы производства и потребления в каждом пункте считают заданными; также заданы затраты, связанные с передвижением вагона груза из одного пункта в другой. Требуется узнать, как следует прикрепить пункты потребления к пунктам производства (учитывая заданные объемы производства и потребления), чтобы получить наилучший с точки зрения народного хозяйства вариант перевозки данного груза. Под таким вариантом мы разумеем тот, для которого общая сумма затрат по передвижению данного груза будет минимальной.[1]

[1] Задача А рассматривается в статье А. Толстого («Социалистический транспорт», 1939, № 9, стр. 28—51); однако в ней не дано законченного общего метода решения. См. также его брошюру «Методы устранения нерациональных перевозок при составлении оперативных планов», Трансжелдориздат, 1941, стр. 101; здесь подробно рассмотрены виды нерациональных перевозок и существующие методы анализа вопроса.

Сначала мы излагаем общие соображения, на которых основаны развиваемые нами методы, затем показываем на нескольких примерах процесс решения поставленной задачи. Предлагаемый способ является эффективным; даже в весьма сложных случаях решение задачи может быть найдено в короткий срок.

Далее мы рассматриваем более сложную задачу (задача Б), когда имеется несколько различных однородных грузов, а также ряд грузов с точно определенными пунктами назначения и отправления; в данном случае при планировании перевозок имеет важное значение вопрос о питании порожняком. Решение этого вопроса приводит к решению нескольких задач типа задачи А и потому может быть осуществлено теми же методами.

Ниже рассматривается задача В, отличающаяся от задачи А некоторым усложнением условий, а именно: некоторые магистрали имеют пропускную способность меньшую, чем мощность грузопотоков, для которых кратчайший путь проходит через данную магистраль. В этом случае приходится часть груза направлять кружным путем, и нужно добиться того, чтобы связанное с этим увеличение затрат оказалось минимальным. Решать задачи подобного типа возможно при помощи тех же методов.

Наконец, в заключение мы указываем на некоторые дополнительные обстоятельства, которые надо учитывать и на основании которых следует корректировать полученную схему перевозок.

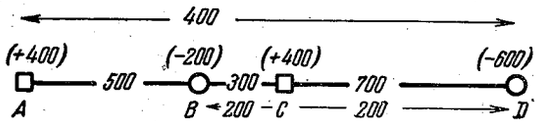
Задача А. Общие принципы

Рассмотрим задачу о наиболее целесообразном прикреплении пунктов потребления однородного груза к пунктам производства.

Суточный размер производства или потребления в вагонах (или тоннах) будем считать указанным;[2] на схемах мы будем писать число вагонов (тонн) в скобках около данного пункта — со знаком плюс у пунктов производства и со знаком минус у пунктов потребления. Затраты по передвижению вагона груза из одного пункта в другой будем считать заданными и на схемах будем отмечать их цифрой посредине участка, соединяющего данные пункты. Решение задачи заключается в том, чтобы найти такое прикрепление пунктов потребления к пунктам производства, при котором сумма затрат на транспорт

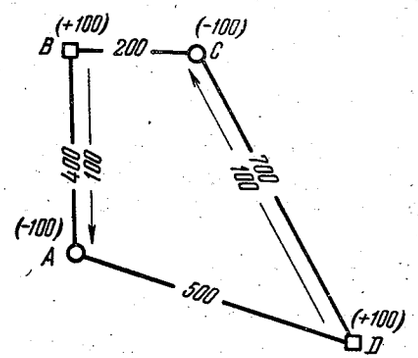
[2] Предполагаем, что пункты погрузки и выгрузки указаны точно (железнодорожные станции). Если же погрузка или выгрузка указана по экономическим или административным районам, то такие районы можно заменять условно определенными станциями.

была бы наименьшей. Казалось бы, что решение вопроса должен давать принцип кратчайших расстояний — прикрепление пунктов потребления к ближайшим, т. е. дающим минимальные затраты по доставке, пунктам производства. Однако проведение этого принципа в чистом виде оказывается



Фиг. 1

невыполнимым даже в простейших случаях; частичное же выполнение его может привести к неправильному решению. Поясним это на двух весьма простых схемах.



Фиг. 2

Для случая, изображенного на фиг. 1, ближайшим к пункту B пунктом производства является C. Однако если мы отправим 200 вагонов из C в B, то для пункта D, кроме остающихся 200 вагонов из C, нужно будет направить 400 вагонов из A. В результате получится явно нерациональный план перевозок, так как имеются встречные перевозки.[3]

В схеме, изображенной на фиг. 2, прикрепляя A к B, мы также берем ближайший пункт производства. Однако данный план нерационален, так как сумма затрат для него составит $400 \cdot 100 + 700 \cdot 100 = 1100 \cdot 100$, тогда как, прикрепляя A к D и C к B, мы получили бы сумму затрат, равную $500 \cdot 100 + 200 \cdot 100 = 700 \cdot 100$.

В последнем примере встречных перевозок не имеется, и нерациональность плана становится ясной только путем сравнения с другим вариантом. В данном случае вариантов два; однако в более сложном, реальном случае число их может быть велико и потому непосредственное сравнение всех вариантов может оказаться практически неосуществимым.

[3] Между прочим, на подобный нерациональный план перевозок может натолкнуть единая цена франко-станция отправления. При такой цене предприятию пункта B выгоднее получать снабжение из C, чем из A, и оно может добиться прикрепления к пункту C; тогда встречные перевозки окажутся неизбежными.

Перейдем к изложению нашего метода, который позволяет избегнуть такого сравнения многих вариантов, и дает возможность кратким путем проверить, является ли данный план наилучшим, и в том случае, если это не так, указать способ его исправления. Основным для этого метода является понятие особой величины, которую мы будем называть *потенциалом перевозок*.

Обозначим через A, B, C,... все пункты, между которыми мы планируем перевозки и пусть $\overline{AB}$ означает затраты на перевозку единицы груза из пункта A в пункт B. Пусть дан некоторый план перевозок из пунктов производства в пункты потребления. Мы будем называть план *потенциальным*, если с каждым из пунктов A, B, C... можно связать некоторую величину U U_A U_B, U_C таким образом, чтобы удовлетворялись два следующих условия:

I условие. Разность значений величины U для любого пункта потребления B и пункта производства A не превосходит затраты (на единицу груза) по перевозке из A в B:

$$U_B - U_A \leqslant \overline{AB}.$$

II условие. Если при данном плане предусмотрена перевозка из A в B, то разность значений U совпадает с этой затратой:

$$U_B - U_A = \overline{AB}.$$

Такую величину U будем называть потенциалом перевозок, отвечающим данному плану.

Это название становится понятным, если привести следующую аналогию. Пусть запланирована перевозка из пункта A в пункт B и для перехода из A в B нужно преодолеть подъем h. Тогда высота (потенциал) пункта B будет превосходить на h высоту (потенциал) пункта A, т. е. разность потенциалов в этих пунктах будет равняться подъему h. Поэтому, если затраты на перевозку представить себе именно так, как подъем, то это будет соответствовать условию II. Очевидно, что если имеется некоторый другой путь, соединяющий пункты A и B, то подъем $\overline{AB}$ при нем должен быть не меньше разности высот этих пунктов — разности потенциалов. Это соответствует условию I.

Пусть нам дан некоторый план перевозок. Как узнать, будет ли он потенциальным, и как построить потенциал, в том случае, если он существует?

Для построения потенциала мы должны использовать те пары пунктов, между которыми предусмотрены перевозки, так как для таких пар пунктов мы знаем разность значений потенциала (равную, согласно условию II, затратам на перевозку единицы груза из одного пункта в другой). По этим разностям нам и надлежит определить потенциал во всех пунктах. Поскольку нам заданы только разности значений потенциала, потенциал сохранит свои свойства, если мы изменим его значения во всех пунктах на одну и ту же постоянную величину. Таким образом, мы можем принять значение потенциала в одном пункте произвольным. Пусть, например, этот выбранный нами пункт есть пункт производства A. Тогда мы сможем определить значение потенциала в тех пунктах потребления, в которые, согласно плану, этот пункт отправляет свой груз. Пусть это будут пункты B_1, B_2... Затем мы сможем определить значение потенциала в тех пунктах производства, которые также направляют свой груз в один из пунктов B_1, B_2...

Таким путем, переходя от одного пункта к другому, мы сможем последовательно пытаться определять потенциал во всех пунктах. Однако не всегда можно это сделать, не приходя в противоречие с условием I. Чтобы уяснить себе этот вопрос, начнем с примеров.

Правильный план перевозок для задачи, данной на фиг. 1, очевиден: надлежит отправить из A в B 200 вагонов и 200 вагонов в D, сверх того 400 вагонов из C в D. Определим потенциал для этого плана. Примем, например, $U_A = 0$. Так как из A совершается перевозка в B с затратой 500, то $U_B - U_A$ должно быть равно 500, т. е. $U_B = 500$. Так как для перевозки из A в D требуются затраты 1500, то $U_D = 1500$. Наконец, так как происходит перевозка из C в D с затратой в 700, то $U_D - U_C = 700$, или $U_C = U_D - 700 = 1500 - 700 = 800$.

Напротив, если бы мы попытались строить потенциал для первоначального плана, приведенного на фиг. 1, то эта попытка не удалась бы. Действительно, полагая опять $U_A = 0$, мы должны были бы принять $U_D = 1500$, так как совершается перевозка из A в D, и далее $U_C = 800$, $U_B = 1100$. Тогда для пунктов A и B оказывается нарушенным условие I, а именно, получаем: $U_B - U_A = 1100 > \overline{AB} = 500$, т. е. в противоречии с условием.

В качестве третьего примера рассмотрим схему и план перевозок, приведенные на фиг. 2. Примем $U_B = 0$; тогда по условию II должны иметь $U_A = 400$. Так как точка D не связана грузопотоками с A и B, значение потенциала в ней не определено. Обозначим это неизвестное значение через α : $U_D = \alpha$. В таком случае мы должны иметь $U_C = \alpha + 700$. Посмотрим, возможно ли хотя бы при каком-либо значении α выполнить условие I.

Применяя его к пунктам B и C, получаем:

$$U_C - U_B = \alpha + 700 \leqslant 200,$$

а применяя к пунктам A и D, получим:

$$U_A - U_D = 400 - \alpha \leqslant 500.$$

Таким образом, с одной стороны должно быть $\alpha \leqslant -500$, с другой $\alpha \geqslant -100$. Отсюда ясно, что такого α не существует, а потому для данного плана нельзя построить потенциал, удовлетворяющий обоим условиям (I и II). Следовательно, план непотенциальный.

В первом примере исходный план был взят наивыгоднейший и он оказался потенциальным, в последних двух план был не наивыгоднейшим и оказался непотенциальным. Всегда потенциальный план есть наивыгоднейший, и наоборот. Точнее говоря, справедливы следующие два положения.

Положение 1. Если для данного плана имеется потенциал перевозок, то этот план является наивыгоднейшим, т. е. всякий другой план дает не меньшие суммарные затраты.

Через $A_1, A_2, \ldots, A_m$ обозначим пункты производства, соответственно через $a_1, a_2, \ldots, a_m$ — объем производства (в вагонах) в этих пунктах; через $B_1, B_2, \ldots, B_n$ — пункты потребления и через $b_1, b_2, \ldots, b_n$ — объемы потребления в них. Очевидно, должно быть $\sum_i a_i = \sum_k b_k$. Через $r_{ik} = \overline{A_i B_k}$ обозначим затраты по перевозке вагона груза из пункта A_i в B_k. Через h_{ik} обозначим число вагонов, направляемых из пункта A_i в пункт B_k, согласно данному плану перевозок (если перевозка не совершается, то $h_{ik} = 0$). По смыслу величин h_{ik} должно быть $\sum_k h_{ik} = a_i$ и $\sum_i h_{ik} = b_k$.

Согласно предположению, для данного плана имеется потенциал перевозок — величина U, удовлетворяющая условиям I и II, которые при введенных обозначениях можно записать так:

I. $U_{B_k} - U_{A_i} \leqslant r_{ik}$ $(i = 1, 2 \ldots, m; \quad k = 1, 2, \ldots, n)$.

II. Если перевозка из A_i в B_k фактически осуществляется, т. е. $h_{ik} \neq 0$, то

$$U_{B_k} - U_{A_i} = r_{ik}.$$

Подсчитаем сумму затрат по перевозкам при данном плане. Она равна

$$W = \sum_i \sum_k h_{ik} r_{ik} = \sum_i \sum_k (U_{B_k} - U_{A_i}) h_{ik}.$$

Действительно, если $h_{ik} \neq 0$, то соответственные произведения, стоящие в обеих частях равенства, равны между собой в силу условия II; если же $h_{ik} = 0$, то они оба равны нулю и равны между собой. Преобразуя дальше, получаем:

$$W = \sum_k U_{B_k} \sum_i h_{ik} - \sum_i U_{A_i} \sum_k h_{ik} = \sum_k b_k U_{B_k} - \sum_i a_i U_{A_i}.$$

Пусть теперь дан некоторый другой план перевозок. Число вагонов, направляемых из A_i и B_k по этому плану, обозначим через h'_{ik}. Подсчитаем и оценим суммарные затраты по этому плану. Используя условие I, имеем:

$$W' = \sum_i \sum_k h'_{ik} r_{ik} \geqslant \sum_i \sum_k (U_{B_k} - U_{A_i}) h'_{ik} =$$

$$= \sum_k U_{B_k} \sum_i h'_{ik} - \sum_i U_{A_i} \sum_k h'_{ik} = \sum_k b_k U_{B_k} - \sum_i a_i U_{A_i} = W.$$

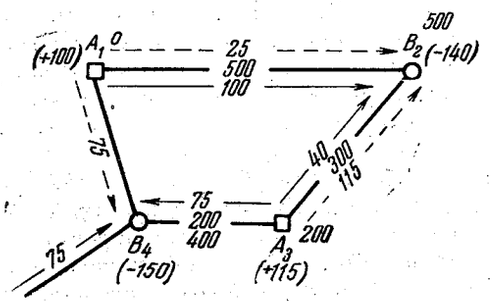
Итак, $W' \geqslant W$, т. е. действительно план, для которого имеется потенциал, дает наименьшие суммарные затраты.

Установленное предложение показывает, что если некоторый план дается в сопровождении потенциала перевозок (конечно, с выполнением условий I и II), то это служит гарантией того, что он наивыгоднейший. Верно также положение, обратное первому:

Положение 2. Всякий наивыгоднейший план является и потенциальным, т. е. для него существует потенциал перевозок, удовлетворяющий условиям I и II.

Полного доказательства этого положения приводить не будем, покажем лишь его идею, которая сводится к тому, что если для данного плана попытка построить потенциал не удается, то это объясняется нерациональностью плана. Следовательно, имея наивыгоднейший план, потенциал перевозок всегда можно построить. Покажем это на примере. На фиг. 3 дается сплошными линиями заданный план перевозок (кроме изображенных на

схеме станций и грузопотоков могут быть еще и другие, здесь не приведенные). Начнем определение потенциала с пункта A_1 и положим, например, $U_{A_1} = 0$ (значение потенциала в точке мы записываем рядом с ней). Из A_1 совершается перевозка в B_2 так, что мы должны принять, по условию II, $U_{B_2} - U_{A_1} = \overline{A_1 B_2} = 500$, откуда $U_{B_2} = 500$. Далее, в B_2 производится перевозка из A_3, так что U_{A_3} мы должны определить из условия



Фиг. 3

$U_{B_2} - U_{A_3} = \overline{A_3 B_2} = 300$. Отсюда $U_{A_3} = 500 - 300 = 200$. Таким же образом, U_{B_4} мы должны определить из условия $U_{B_4} - U_{A_3} = 200$. Следовательно, $U_{B_4} = 200 + 200 = 400$.

Допустим, что здесь мы обнаружили нарушение условия I и что затраты на перевозку из A_1 в B_4 по прямому пути будут меньше, чем разность потенциалов в этих точках:

$$\overline{A_1 B_4} < U_{B_4} - U_{A_1} = 400.$$

Это сразу показывает, что данный план можно улучшить, снизив общий объем перевозок. Для этого нужно направить 75 вагонов груза из A_1 непосредственно в B_4 и соответствующим образом изменить остальные перевозки. Получим схему перевозок, изображенную пунктирными линиями. Сравним затраты на перевозки (в пределах данной части схемы) при обоих вариантах. При первом варианте они равны

$$w_1 = 100 \cdot 500 + 40 \cdot 300 + 75 \cdot 200,$$

при втором

$$w_2 = 25 \cdot 500 + 115 \cdot 300 + 75 \cdot \overline{A_1 B_4} = 100 \cdot 500 + 40 \cdot 300 + 75 \cdot 200 -$$

$$- 75\ (500 - 300 + 200 - \overline{A_1 B_4}) = w_1 - 75\ (400 - \overline{A_1 B_4}).$$

Так как разность $400 - \overline{A_1B_4}$, по предположению, положительна, то $w_2 < w_1$ и исправленный план экономичнее первоначального.

Таким же образом, всякий раз, когда мы, пытаясь построить на основании условие II потенциал перевозок для данного плана, нарушим условия I, это укажет на некоторую нерациональность плана и на способ, которым его можно улучшить.

Сделаем следующее замечание. Мы в нашем примере провели операцию исправления плана, которую будем называть снятием с кружного пути некоторого числа вагонов и направлением их по прямому пути. В рассмотренном примере мы сняли с кружного пути ($A_1 - B_2 - A_3 - A_4$) 75 вагонов, т. е. уменьшили перевозки на тех участках этого пути, по которым перевозки производятся в направлении от A_1 к B_4 и для сохранения баланса в промежуточных пунктах увеличили на 75 вагонов перевозки на участках пути, по которым перевозки производятся в обратном направлении. При этом баланс нарушился только в крайних пунктах A_1 и B_4, а затраты на перевозку уменьшились на величину

$$75\,(U_{B_4} - U_{A_1}).$$

Для сведения баланса и в этих пунктах мы должны были направить 75 вагонов груза по прямому пути из A_1 в B_4, что вызвало увеличение затрат на $75 \cdot \overline{A_1B_4}$. Общая экономия, таким образом, выражается величиной

$$75\,(U_{B_4} - U_{A_1} - \overline{A_1B_4}).$$

Таким же образом, и вообще, если в двух пунктах A и B потенциал определен, то с кружного пути, соединяющего эти пункты (составленного из участков, вдоль которых определяется потенциал), можно снять некоторое число m вагонов (наименьшее число, которое встречается на стрелках, идущих в направлении от A к B), так что баланс перевозок сохранится во всех пунктах этого пути, кроме крайних A и B. Затраты при этом уменьшатся на величину

$$m\,(U_B - U_A).$$

Иными словами, разность потенциалов всегда, так сказать, «реализуема».

Сформулированные выше два положения служат базой для всех излагаемых ниже методов нахождения наивыгоднейшего плана.

Пусть дан какой-нибудь план. Определяем последовательно от пункта к пункту потенциал. Если его удастся определить (с соблюдением условий I и II), то это будет служить гарантией того, что план наивыгоднейший. Обычно, если данный план взят на-глаз, это будет не так, и при определении потенциала мы встретим противоречия (нарушение условий I и II); план будет заведомо не наивыгоднейший. При этом рассуждения, проведенные при рассмотрении положения 2, показывают, при помощи какого исправления можно уменьшить затраты. На этом и основан метод решения задачи А, изложенный в следующем разделе.

Задача А

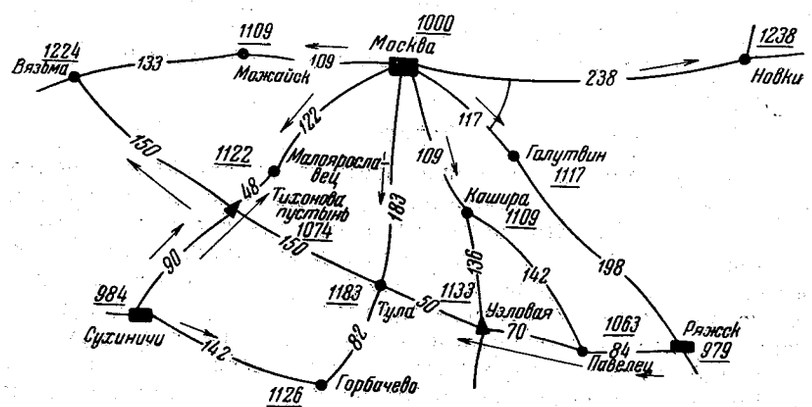
Здесь изложен метод нахождения наивыгоднейшего плана перевозок, который опирается на основные предложения, доказанные выше. При этом мы будем различать две задачи. Задача п р о в е р к и того, является ли данный план наивыгоднейшим, и задача н а х о ж д е н и я наивыгоднейшего плана прикрепления пунктов производства к пунктам потребления. Далее мы рассмотрим последовательно два случая — когда все пункты в плане связаны между собой и когда пункты разбиваются на несколько групп, не связанных грузопотоками одна с другой.

При рассмотрении примеров, не имея других данных о затратах по перевозкам (например, о себестоимости), мы берем в качестве меры затрат вагоно-километры или, что то же самое, тонно-километры, как это обычно принимается на транспорте. Следовательно, наивыгоднейшим мы считаем план, дающий при соблюдении прочих условий минимальный вагоно-километраж. В этом случае затраты по перевозке на один вагон (выраженные в вагоно-километрах) равны расстоянию между пунктами. Следует сказать, что это является совершенно несущественным — метод решения не зависит от принятого способа измерения затрат, и так же точно приведет к результату, если затраты будут измерены более совершенным образом.

Отметим еще, что, говоря выше о потенциале, мы определяли его только в пунктах погрузки и назначения. Однако при решении примеров иногда бывает выгодно определять его и в других пунктах (узлах); это всегда возможно в случае наивыгоднейшего плана без нарушения основных условий для потенциала. Наконец, обратим внимание на то очевидное обстоятельство, что если условия I и II для потенциала будут выполняться для любой пары соседних пунктов, т. е. связанных

каким-то участком железнодорожного пути непосредственно, без захода в другие рассматриваемые пункты, то эти условия будут соблюдаться и всегда. Это замечание существенно облегчит проверку выполнения основных свойств потенциала.[4]

Покажем прежде всего на примерах, как проверить то, что план прикрепления является наивыгоднейшим. В этом случае нет необходимости иметь полный план перевозок с указанием



Фиг. 4

их объема, а достаточно иметь схему грузопотоков. Рассмотрим схему, представленную на фиг. 4. На схеме приведены расстояния между пунктами, а стрелками показаны направления грузопотоков. Как и выше, пункты производства (погрузки) изображены прямоугольниками, пункты потребления — кружками, остальные (узловые) станции — треугольниками.

Для проверки правильности плана строим потенциал. Для Москвы принимаем его равным 1000. Так как из Москвы производится перевозка в Новки, значение потенциала для Новки (по условию II) равно $1000 + 238 = 1238$. Таким же образом, для Голутвина это значение равно 1117, для Каширы 1109, для Тулы 1183.

Далее, в Тулу производится перевозка из Ряжска, поэтому в Ряжске потенциал должен быть меньше на величину, равную расстоянию между ними: $50 + 70 + 84 = 204$, т. е. потенциал

[4] Отметим, что когда речь идет не о вагоно-километрах, а о другом измерении, то последние два упрощающих соображения будут верны, если измеритель такой, что всегда $\overline{AB} + \overline{BC} = \overline{AC}$ кратчайший путь из A в C проходит через B.

для Ряжска равен $1183 - 204 = 979$. Попутно определяется потенциал для Павельца: $979 + 84 = 1063$ и Узловой — 1133.

Затем определяется потенциал для Малоярославца: $1000 + 122 = 1122$, для Сухинич: $1122 - (90 + 48) = 984$, Тихоновой Пустыни: $984 + 90 = 1074$, Горбачева: $984 + 142 = 1126$, Вязьмы: $1074 + 150 = 1224$, Можайска: $1000 + 109 = 1109$.

Итак, потенциал определен во всех случаях. Проверим, будет ли выполнено условие I. Достаточно сравнить значение потенциала в тех соседних пунктах, для которых оно получено разным путем. Рассмотрим следующие пары пунктов:

Голутвин — Ряжск	$1\,117 - 979 = 138 < 198$
Кашира — Павелец	$1\,109 - 1\,063 = 46 < 142$
Узловая — Кашира	$1\,133 - 1\,109 = 24 < 136$
Тула — Горбачево	$1\,183 - 1\,126 = 57 < 82$
Тула — Тихонова Пустынь	$1\,183 - 1\,074 = 109 < 150$
Вязьма — Можайск	$1\,224 - 1\,109 = 115 < 133$

Во всех случаях разность потенциала меньше расстояния, т. е. условие I соблюдено. Это доказывает, что план не содержит нерациональных перевозок (в отношении правильности прикрепления).

Заметим, что при анализе плана нет надобности составлять потенциал для всех пунктов: его можно не находить для тех пунктов, где рациональность плана не вызывает сомнений (например, для станции Новки на фиг. 4). Для таких пунктов можно не определять их расстояний.

Полезно также проверять правильность плана параллельно с определением потенциала. Тогда, если план содержит нерациональные перевозки, это можно обнаружить, не находя потенциала для всех точек.

Проверка правильности плана прикрепления может быть с таким же удобством осуществлена вместо схемы путей по таблице расстояний и грузопотоков — «шахматке». Подобная таблица расстояний дана ниже (см. таблицу расстояний).

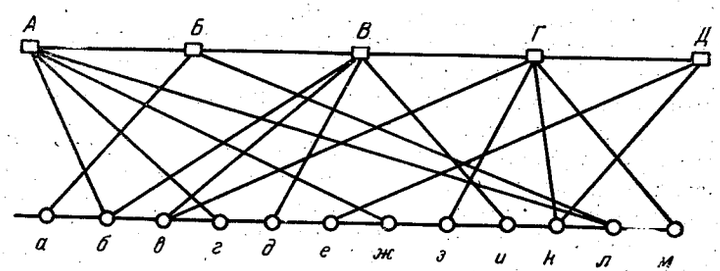
В таблице указаны попарные расстояния между каждым из пяти пунктов отправления A, $Б$, $В$, $Г$, $Д$ и каждым из 12 пунктов назначения $а$, $б$,..., $м$. Далее указывается, какой пункт из какого снабжается по плану; для этого соответствующее расстояние набрано курсивом. Например, то, что цифра 1018 в строке $б$ против $В$ выделяется, показывает, что в данном плане предусмотрено снабжение пункта $б$ из $В$.

Для проверки того, что план наивыгоднейший, строим потенциал. Начинаем с пункта $А$, берем для него значение потенциала

Таблица расстояний

Пункты назначения	Пункты отправления А (500)	Б (363)	В (247)	Г (438)	Д (35)
	Расстояния, км				
а (980)	567	*617*	1 004	957	2 099
б (1 265)	*765*	1 090	*1 018*	835	1 819
в (705)	658	955	*458*	267	1 182
г (722)	*222*	552	690	616	1 733
д (540)	508	808	*293*	120	1 170
е (222)	1 691	2 017	1 575	1 335	*187*
ж (898)	*398*	725	837	765	1 907
з (634)	617	924	439	*226*	1 107
и (558)	375	434	*311*	427	1 601
к (898)	842	1 168	682	*460*	*863*
л (1 224)	*724*	*861*	1 157	1 114	2 255
м (838)	538	866	639	*400*	1 072

равным, например, 500. Так как из пункта A совершаются перевозки в пункты *б*, *г*, *ж*, *л*, то определяем потенциал для них; например, для *б* потенциал равен $500 + 765 = 1265$ и т. д. (эти связи



Фиг. 5

нанесены на фиг. 5). Далее, в пункт *б* перевозится груз также из B при расстоянии в 1018. Отсюда значение потенциала в пункте B должно быть принято равным $1265 - 1018 = 247$. После этого определяем потенциал в пунктах *в*, *д*, *и*, которые снабжаются из B. Продолжая таким же образом, определим значение потенциала во всех пунктах. Эти значения потенциалов приведены в таблице против обозначений соответствующих пунктов в скобках.

Теперь проверим, выполнено ли для найденных значений потенциала условие I. Расстояние между каждыми двумя пунктами должно быть не больше разности потенциалов в пунктах отправления и в пунктах назначения. Иначе говоря, потенциал в пункте назначения должен быть не больше суммы потенциала в пункте отправления и расстояния. Произведем, например, проверку для пункта *а*. Потенциал в нем равен $U_a = 980$, а указанные суммы равны соответственно:

для *а* и *А*	$500 + 567 = 1\,067 > 980$
» *а* и *Б*	$363 + 617 = 980 = 980$
» *а* и *В*	$247 + 1\,004 = 1\,251 > 980$
» *а* и *Г*	$438 + 957 = 1\,395 > 980$
» *а* и *Д*	$35 + 2\,099 = 2\,134 > 980$

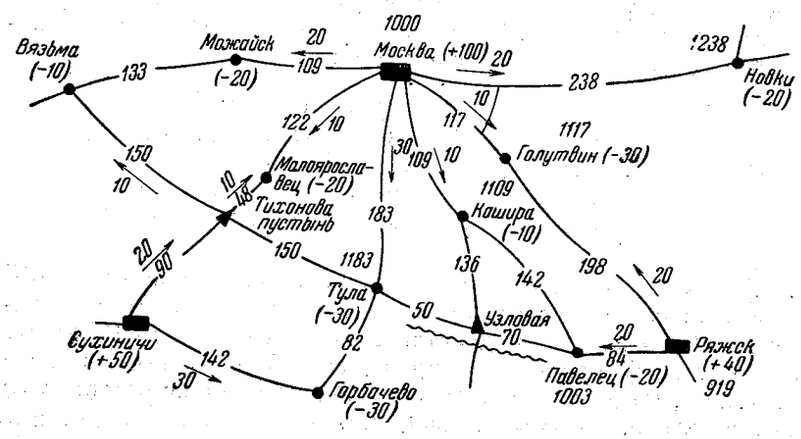
т. е. во всех случаях «больше» за исключением пары *а* и *Б*, где стоит знак равенства, но это находится в соответствии с тем, что из *Б* в *а* перевозка действительно совершается. К такому же результату приводит и проверка для остальных пунктов (*б*, *в*, ..., *м*). Итак, для плана установлено наличие потенциала; следовательно, он наивыгоднейший.

При выполнении этой проверки, как правило, нет надобности все указанные суммы выписывать и точно подсчитывать, так как за немногими исключениями знак неравенства виден сразу, на-глаз. Также вообще нет нужды производить проверку для тех пар пунктов, относительно которых заведомо ясно, что перевозка из одного в другой не может быть рациональной и можно даже расстояния между этими пунктами в «шахматку» не включать.

Приведем теперь примеры такого рода, когда при построении потенциала обнаруживается нерациональность плана, и покажем, как он может быть в таком случае исправлен. Отметим, что для исправления плана уже недостаточно только указать направление грузопотоков, а необходимо иметь полный план перевозок.

Рассмотрим в качестве примера план, приведенный на фиг. 6. На нем, кроме расстояний, указан объем производства или потребления в каждом пункте и объем перевозок (на стрелках). К Ряжску прикреплены ближайшие к нему пункты: Павелец и частично Голутвин, к Сухиничам — Вязьма, Горбачево и частично Малоярославец; остальные пункты прикреплены

к Москве. Составляем потенциал. Принимаем его для Москвы равным 1000 и определяем последовательно для пунктов: Новки 1000 + 238 = 1238, Голутвин 1000 + 117 = 1117, Ряжск 1117 — 198 = 919, Павелец 919 + 84 = 1003, Кашира 1000 + + 109 = 1109 (фиг. 6). Делаем проверку для пунктов Кашира — Павелец: 1109—1003 = 106 < 142, невязки нет. Далее составляем потенциал для Тулы: 1000 + 183 = 1183. Сравниваем



Фиг. 6

пункты Тула — Павелец, находим: 1183—1003 = 180 > 120. Разность потенциалов оказалась больше расстояния — невязка (нарушено условие I).

Каким путем получилась невязка? Соединяем пункты Тула и Павелец (от меньшего потенциала к большему) незамкнутым кольцом, составленным из пунктов, где потенциал определен: Павелец — Ряжск — Голутвин — Москва — Тула. Наименьшее число вагонов, идущих в этом направлении, 20 (участок Ряжск — Голутвин). Поэтому снимаем 20 вагонов в этом направлении, а именно: число вагонов на стрелках, идущих в этом направлении, уменьшаем на 20, а число вагонов на стрелках, идущих в противоположном направлении, на 20 увеличиваем, т. е. на стрелке на участке Павелец — Ряжск ставим 40, на участке Ряжск — Голутвин 0 (снимаем стрелку), на участке Москва — Голутвин 30, на участке Москва — Тула 10, на участке Павелец — Тула 20 (вместо 0). Иначе говоря, вносим

следующие изменения: из Ряжска направляем 20 вагонов в Тулу, Голутвин из Ряжска больше не снабжаем, зато в Голутвин направляем 30 вагонов вместо 10 из Москвы, но из Москвы в Тулу вместо 30 направляем только 10 вагонов.

Полученную за счет исправления экономию в вагоно-километраже можем подсчитать непосредственно, учитывая добавленные и снятые перевозки. Получим:

$$20 \cdot 198 + 20 \cdot 183 - 20 \cdot 120 - 20 \cdot 84 - 20 \cdot 117 = 1200 \text{ вагоно-км.}$$

Это можно подсчитать и по упрощенному правилу, исходя из того, что сокращение вагоно-километража равно произведению величины устраненной невязки на число вагонов. В данном случае

$$20\,(1183 - 1103 - 120) = 1200 \text{ вагоно-км.}$$

Получающийся в результате указанного исправления план имеет схему направлений грузопотоков, которая приведена на фиг. 4. Ее мы уже проверили; она соответствует наивыгоднейшему плану.

Вообще, если нам нужно не проверить план, а составить его по данным условиям, то поступаем таким образом. Составляем на-глаз простейший план прикрепления; при этом стараемся только избежать явно нерациональных перевозок: встречных перевозок, пересекающихся грузопотоков. После этого проверяем план при помощи построения потенциала. Обнаружив невязки в потенциале, вносим исправления подобно проведенным в предыдущем примере. После нескольких исправлений приходим к наивыгоднейшему плану.[5]

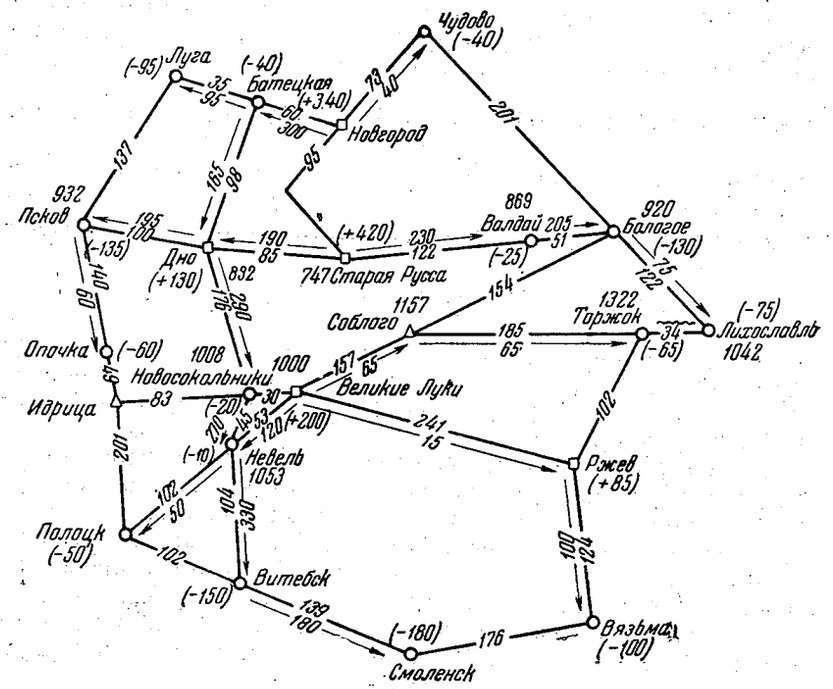
Приведем пример с несколькими такими исправлениями. Для ясности мы будем изображать последовательные приближения на отдельных чертежах. На практике в этом нет, конечно, нужды и все решение проводится на одном чертеже. Исправления вносятся при помощи карандаша и резинки.

Задача изображена на фиг. 7. На ней приведены пункты производства и потребления с указанием объема их при наших обычных обозначениях, а также составленный упрощенным путем исходный план.

---

[5] Подчеркнем еще раз, что, говоря «наивыгоднейший план», мы имеем в виду план, наивыгоднейший в соответствии с принятой постановкой, т. е., что план дает нам наименьшие суммарные затраты при принятом способе их измерения среди всех планов, удовлетворяющих данным условиям.

Для проверки правильности составления плана строим потенциал. Принимаем его для Великих Лук равным 1000. Далее определяем его последовательно, как выше, для пунктов

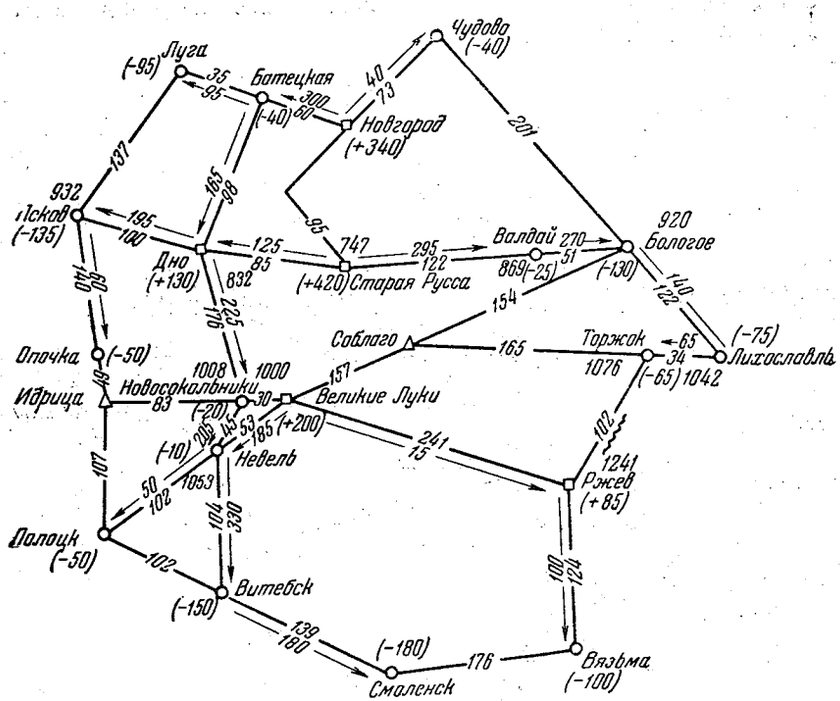


Фиг. 7

Невель, Новосокольники, Дно, Старая Русса, Валдай, Бологое, Лихославль, а также для Соблаго, Торжок. Для пунктов Лихославль и Торжок обнаруживается невязка: 1322 — 1042 > >34. Для устранения ее по соединяющему кружному пути — пути определения потенциала: Лихославль — Бологое — Валдай — Старая Русса — Дно — Новосокольники — Невель — Великие Луки — Соблаго — Торжок, снимаем наименьшее встречающееся число вагонов, идущих в этом направлении, 65 (участок Великие Луки — Соблаго — Торжок), т. е. уменьшаем на 65 число на стрелках, идущих в этом направлении и увеличиваем на противоположных. В результате приходим

к плану, приведенному на фиг. 8. Экономию подсчитываем по указанному выше упрощенному правилу:

$$65\,(1322 - 1042 - 34) = 65 \cdot 246 = 15990 \text{ вагоно-км.}$$



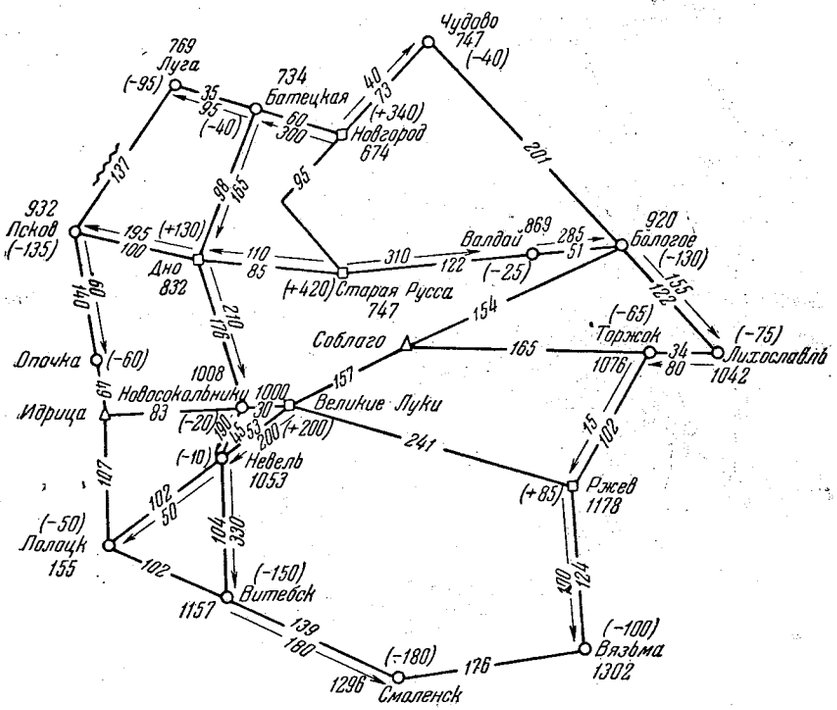
Фиг. 8

Для этого плана опять строим потенциал (также начиная с Великих Лук), исправляя его значение в затронутых произведенным перемещением пунктах (в данном случае только в Торжке, а в Соблаго потенциал более не определен).

Составляем далее потенциал для Ржева и обнаруживаем невязку для пунктов Торжок, Ржев. Для исправления ее снимаем 15 вагонов с пути Торжок — Лихославль — Бологое — Валдай — Старая Русса — Новосокольники — Невель — Великие Луки — Ржев. Уменьшение вагоно-километража составляет:

$$15\,(1241 - 1076 - 102) = 1563 = 945 \text{ вагоно-км.}$$

Исправленный план приведен на фиг. 9. На нем исправен в соответствии с этим и потенциал в Ржеве. После этого продолжаем определение потенциала для пунктов Вязьма, а также для Батецкая, Новгород, Чудово, Луга. Для пунктов Чудово и Бологое невязки нет. Невязка обнаруживается для участка Луга — Псков: $932-769>137$.



Фиг. 9

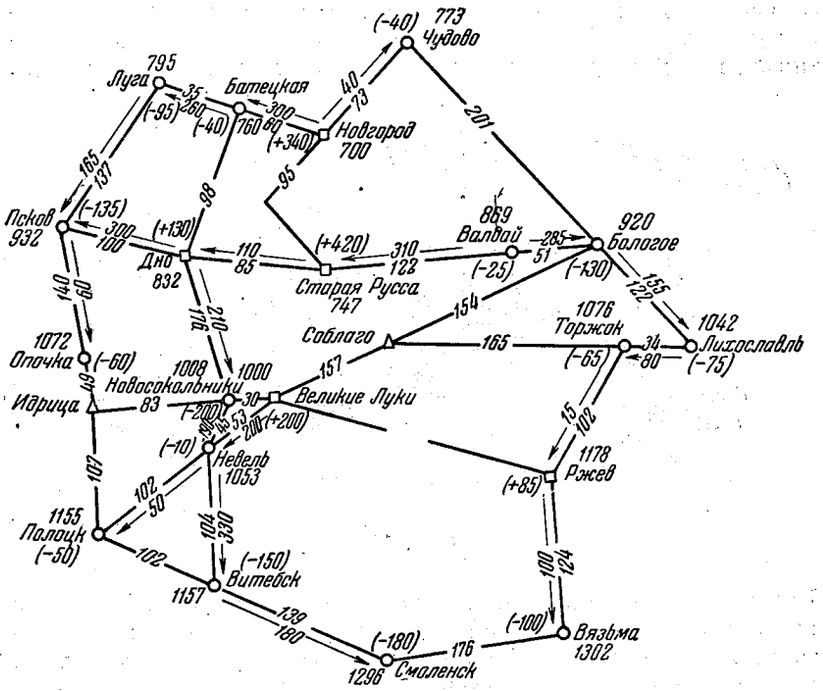
Снимаем 165 вагонов на соединяющем их пути Луга—Батецкая—Дно—Псков. Выигрыш составляет:

$$165\,(932 - 769 - 137) = 165 \cdot 26 = 4290 \text{ вагоно-км.}$$

Исправленный план приведен на фиг. 10. Исправляем в нем значение потенциала в пунктах Луга, Батецкая, Новгород, Чудово и продолжаем построение его для пунктов Опочка, Полоцк, Витебск, Смоленск. В этом плане никаких невязок более не обнаруживается, и он оказывается наивыгодней-

шим — дающим минимальный вагоно-километраж. Всего при переходе от первоначальной схемы (фиг. 7) к окончательной (фиг. 10) получим уменьшение вагоно-километража в размере

$$15\,990 + 945 + 4290 = 21\,225 \text{ вагоно-км,}$$



Фиг. 10

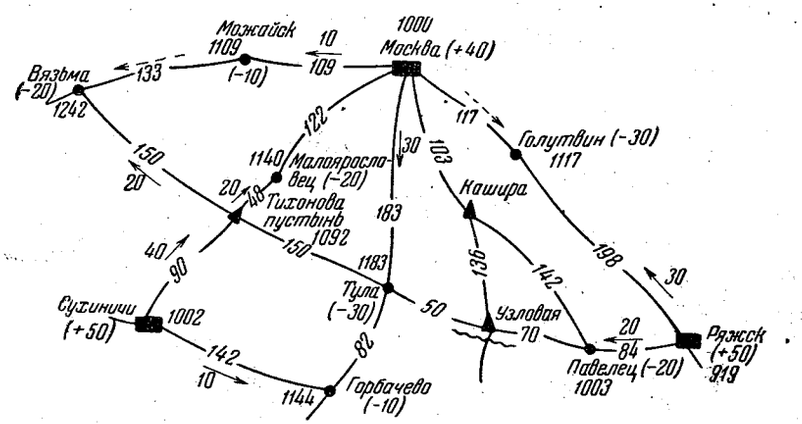
что составляет примерно 7% от первоначального объема перевозок.

Отметим попутно еще некоторые возможности применения потенциала перевозок. Предположим, что в составленный план, для которого построен потенциал, вносятся некоторые изменения в связи с изменением объема производства и потребления, однако настолько небольшие, что схема грузопотоков остается неизменной. В таком случае изменение в затратах на перевозки, как легко проверить, можно подсчитывать по формуле:

$$\Delta W = \sum_k U_{B_k} \Delta b_k - \sum_i U_{A_i} \Delta a_i,$$

где Δa_i и Δb_k — изменения в объемах погрузки и выгрузки. Если изменение коснулось лишь небольшого числа пунктов, то подсчет по этой формуле очень удобен.

В отдельных случаях желательно по тем или иным причинам отступать от плана, дающего минимальные затраты (в частности, вагоно-километраж). Так, например, при нежелании нарушить установившуюся связь между предприятиями, или для сохранения возможности маршрутизации и пр.



Фиг. 11

Пользуясь потенциалом, легко (если отступление касается небольшого числа вагонов) подсчитать связанные с этим потери. Именно, если мы введем перевозку из пункта A в B, которая не предусмотрена наивыгоднейшим планом, то связанные с этим потери в суммарном тонно-километраже на один «неправильно направленный» вагон будут равняться

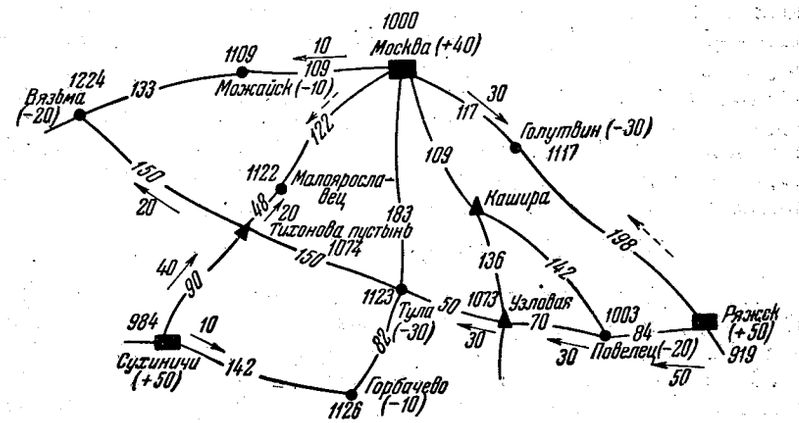
$$\overline{AB} - (U_B - U_A).$$

Так, если направить некоторое число вагонов из Новгорода через Старую Руссу в Бологое, сохранив баланс вагонов во всех пунктах, то потери на каждый вагон составят

$$268 - (920 - 700) = 48 \text{ вагоно-км.}$$

Рассмотрим теперь случай, когда грузопотоки разбиваются на несколько не связанных между собою систем, и покажем, как в этом случае проверяется и исправляется план.

Рассмотрим план перевозок, приведенный на фиг. 11. Строим потенциал для него. Приняв его для Москвы равным 1000, находим его значение для Можайска и Тулы. Остальные пункты не связаны перевозками с теми, для которых определен потенциал. Тогда применяем следующий прием. Вводим условную перевозку m вагонов на связывающем участке. Например, направляем m вагонов на Можайск в Вязьму (на фиг. 11 показано пунктирной стрелкой). Тогда получаем возможность определить



Фиг. 12

значение потенциалов в пунктах Вязьма, Тихонова Пустынь, Малоярославец, Сухиничи, Горбачево. Производим проверку для пунктов Москва — Малоярославец, обнаруживаем невязку $1140-1000 > 122$. Однако в данном случае наличие невязки не свидетельствует еще о том, что имеются нерациональные перевозки. Именно, с пути Москва — Можайск — Вязьма — Тихонова Пустынь — Малоярославец мы можем снять со стрелок только m вагонов, так как в этом направлении встречается условная связь (пунктирная стрелка). Осуществление этого (снятия вагонов) приводит таким образом не к реальному изменению плана, а к введению условной связи Москва — Малоярославец вместо Можайск — Вязьма. В связи с этим уже иначе определяются потенциалы в пунктах: Малоярославец, Тихонова Пустынь, Вязьма, Сухиничи, Горбачево; именно они должны быть уменьшены на величину исправленной невязки $(1140 - 1000) - 122 = 18$.

Эти изменения нанесены в левой части фиг. 12. Таким образом, план прикрепления в этой части был правилен, и нам

потребовалось только исправить значения потенциала. После этого возвращаемся к построению потенциала, который у нас еще не определен для ряда пунктов, так как они не связаны с прочими. Вводим новую условную связь на участке Москва — Голутвин, направляя m вагонов. После этого значение потенциала определяется последовательно в пунктах: Голутвин, Ряжск, Павелец, как это показано на фиг. 11.

При проверке пунктов Тула — Павелец обнаруживается невязка в 1183—1003 > 120. На пути Павелец — Ряжск — Голутвин — Москва — Тула наименьшее число вагонов, идущее в указанном направлении, 30. Снимаем по 30 вагонов со стрелок, идущих в противоположную сторону. Получаем изменение грузопотоков, в связи с чем также изменяется значение потенциала в пункте Тула. Изменения даны на правой части фиг. 12. В данном случае невязка привела к действительному изменению плана и к сокращению вагоно-километража на

$$(1183 - 1003 - 120) \cdot 30 = 1800 \text{ вагоно-км.}$$

После указанных исправлений в плане, приведенном на фиг. 12, для потенциала оказываются выполненными условия I и II. Следовательно, этот план наивыгоднейший.

Из этого примера ясно, что распадение грузопотоков на несвязанные части не вносит существенных затруднений в проверку и исправление плана перевозок. В такой же мере этот прием осуществим и в том случае, когда план дан не в виде схемы, а в виде таблицы. В этом случае нужно только устанавливать условные связи по схеме фиг. 5.

Задача Б

В этом разделе речь идет о планировании перевозок нескольких грузов.

Пусть даны пункты $C_1, C_2, \ldots, C_p$ и связывающая их железнодорожная сеть и пусть каждый из нескольких различных грузов грузится в некоторых из этих пунктов и в некоторых других разгружается. При этом может случиться, что отдельные пункты будут участвовать в распределении не всех из рассматриваемых грузов. Требуется составить план перевозок всех этих грузов и образующегося порожняка так, чтобы затраты на всю массу перевозок были минимальными.

Предполагаем, что объемы погрузки и выгрузки по каждому грузу сбалансированы.

Эта задача распадается на несколько задач типа задачи А. В самом деле, для каждого груза в отдельности надо выбрать

наивыгоднейший план, независимо от перевозок других грузов. Что касается порожняка (мы считаем, что порожняк однородный),[6] то его можно считать за особый вид груза. По условиям задачи известно, сколько в каждый из пунктов прибывает груза и сколько вагонов груза из него отправляется. Это позволяет подсчитать, сколько вагонов порожняка требуется для любого из пунктов или сколько вагонов в нем высвобождается. Дело сводится, таким образом, к тому, чтобы подсчитать, из каких пунктов в какие целесообразно направлять порожняк с тем, чтобы сумма затрат на его перевозку была минимальной, т. е. к решению задачи А.

Не осложняется задача и тогда, когда задан некоторый «фон» перевозок, т. е. известно, что в некоторых пунктах освобождается порожняк от других перевозок, нами сейчас не планируемых, или требуется порожняк для таких перевозок. Нужно лишь учитывать эти количества порожняка при составлении баланса порожняка для каждой станции.

Таким образом, решение разбивается на следующие части: решается задача А для каждого груза в отдельности; для каждого пункта подсчитывается число высвобождающихся или требуемых вагонов порожняка (по видам его). Для каждого вида порожняка решается задача о его наивыгоднейшем распределении, т. е. опять задача А.

Задача В

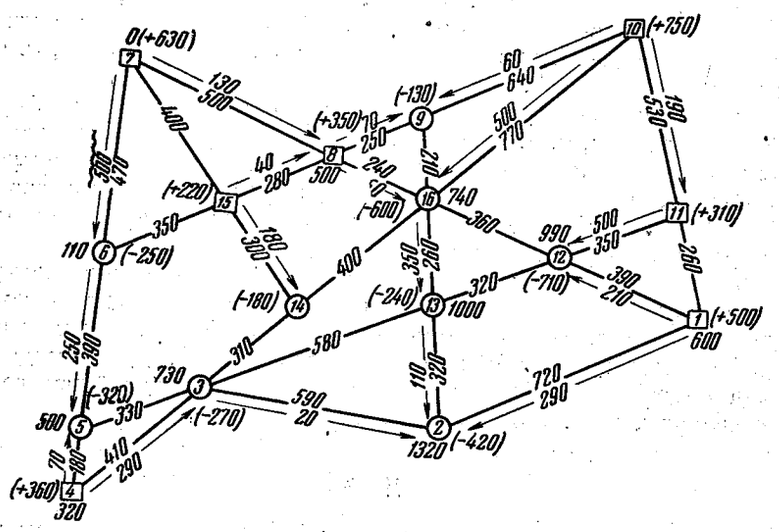
Эта задача отличается от задачи А тем, что пропускная способность железнодорожной сети предполагается ограниченной или, во всяком случае, для некоторых магистралей указана максимальная допустимая загрузка их грузом данного вида. Требуется составить план перевозок, который учитывал бы такое ограничение и был бы наивыгоднейшим по сравнению с другими (также его учитывающими).

Метод решения задачи, по существу, совпадает с первым методом, предложенным нами для решения задачи А. Здесь также вводится потенциал и наивыгоднейший план находится одновременно с нахождением потенциала. Сама техника решения задачи остается прежней, с малыми изменениями.

Итак, пусть для каждого участка сети, соединяющего любые соседние пункты A и B, заданы величины $l(A, B)$ и $l(B, A)$, представляющие пропускную способность этого участка в на-

[6] Если видов порожняка несколько (платформы, крытые вагоны и пр.), дальнейшее относится к каждому из них в отдельности.

правлениях от A к B и соответственно от B к A. Эти пропускные способности могут быть различными вследствие различной технической оснащенности дорог, а также если имеется некоторый «фон», т. е. если по сети уже перевозятся какие-то другие грузы, которые мы считаем заданными и не планируем в настоящий момент. Требуется составить наивыгоднейший (т. е. связанный с наименьшими затратами) план перевозок, при котором объем



Фиг. 13

перевозок $h(A, B)$ по любому участку AB в направлении от A к B не превосходит $l(A, B)$.

Мы утверждаем, что некоторый план будет наивыгоднейшим только тогда, когда с ним можно связать такой потенциал U, при котором для любых двух «соседних» точек будут выполнены следующие условия:

I. Если $h(A, B)=0$, то $U_B - U_A \leqslant \overline{AB}$,

II. Если $0 < h(A, B) < l(A, B)$, то $U_B - U_A = \overline{AB}$,

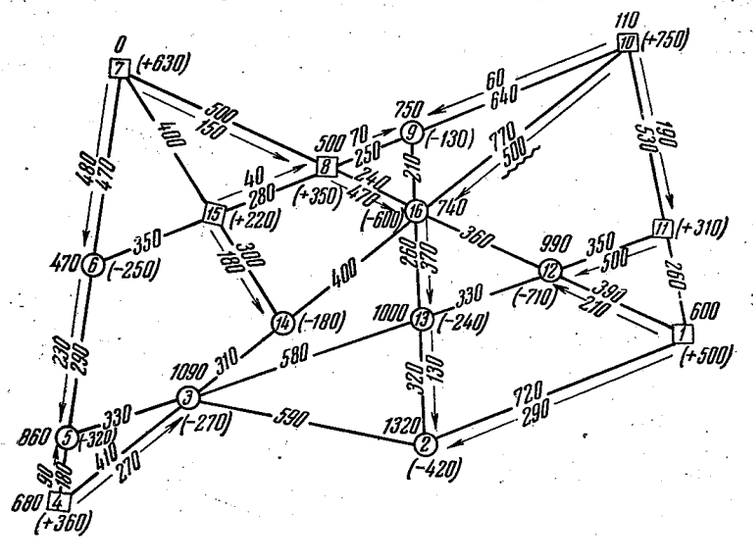
III. Если $h(A, B)=l(A, B)$, то $U_B - U_A \geqslant \overline{AB}$.

Здесь, как всегда, $\overline{AB}$ — затраты на перевозку одного вагона груза из A в B по участку AB. Такой потенциал отличается от рассмотренного нами ранее лишь тем, что для участков,

используемых при наилучшем плане с полной загрузкой, условия I и II раздела 1 заменяются условием III.

Доказательство этого предложения представляет лишь некоторое усложнение доказательства, приведенного в разделе 1, и мы не будем его воспроизводить.

Покажем технику решения задачи В на примере.



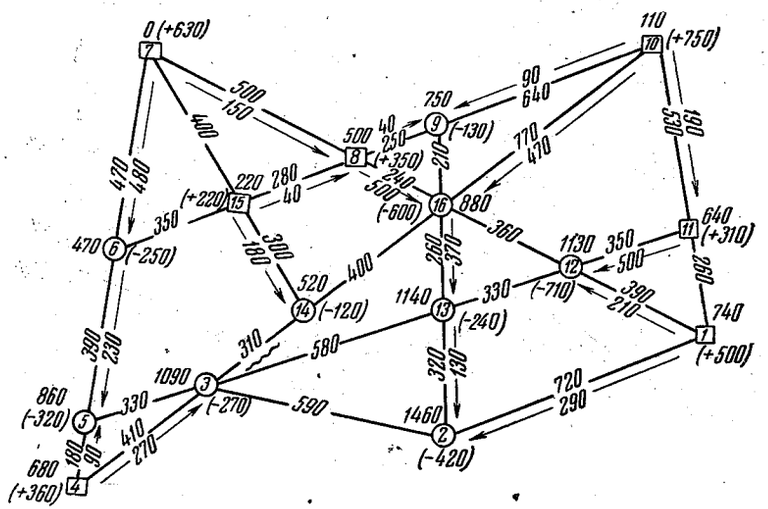
Фиг. 14

Пример. Пусть дана задача, изображенная на фиг. 13, и пусть для любого участка сети пропускная способность (в каждом направлении) равна 500 вагонам. На этой же фигуре изображен некоторый, взятый на-глаз, план перевозок, при котором перевозки по любому участку не превосходят 500 вагонов.

Пробуем строить для этого плана потенциал, пользуясь условием II. Примем его равным нулю в пункте 7. Тогда он последовательно определится, как это показано, в пунктах *8*, *16*, *13*, *2*, *1*, *12*, а также в пунктах *3*, *4*, *5*, *6*. При этом мы пользуемся стрелками, идущими вдоль участков, где перевозки по плану предусмотрены в объеме, меньшем 500 вагонов. Поэтому разность потенциалов на концах таких участков равна длине этих участков.

Обнаруживается невязка между пунктами *6* и *7*, так как условие III оказывается нарушенным. Способ уничтожения

невязки, связанный с улучшением плана, очевиден. Добавим некоторое число m вагонов на кружный путь из пункта 7 в пункт 6 (через пункты 8, 16, 13, 2, 3, 4, 5). Затраты на каждый добавляемый вагон будут равны разности потенциалов в пунктах 6 и 7, т. е. 110—0 = 110. Одновременно снимем с прямого пути из 7 в 6 тоже m вагонов, экономия на каждом снимаемом вагоне 470. В результате мы выгадаем на каждом вагоне 470—110 = = 360. Добавляя вагоны на кружном пути, мы уменьшаем перевозки по участкам 6—5, 4—3, 3—2. Минимальное число



Фиг. 15

вагонов, перевозимое по этим участкам, равно 20 (участок 3—2). Поэтому принимаем $m = 20$ и переходим к плану, который изображен на фиг. 14 и выгоднее предыдущего на $20 \cdot 360 = 7200$ вагоно-км.

В этом плане потенциал в пунктах 7, 8, 16, 13, 2, 1, 12 остался прежним, в пунктах 6, 5, 4, 3 он изменил свое значение. Кроме того, определен потенциал в пунктах 9 и 10. Между пунктами 10 и 16 обнаруживается невязка, имеющая такой же, как и в предыдущем случае, характер. Для ее исправления нужно добавить грузопоток по кружному пути, соединяющему пункты 10 и 16 (через пункты 9 и 8), сняв равное число вагонов с прямого пути. Величина добавляемого грузопотока определяется на этот раз из условия, что по участку 8—16 нельзя провозить более 500 вагонов. Мы приходим к плану, изображенному

на фиг. 15, который дает по сравнению с предыдущим экономию в 30 [770—(740—110)] = $30 \cdot 140 = 4200$ вагоно-км.

Здесь 30 — число вагонов, пускаемых по кружному пути, 770 — расстояние между пунктами 10 и 16, 740—110 разность потенциала в них при плане фиг. 14.

Поскольку дальнейшие исправления носят обычный для задачи А характер и не связаны с перегруженными участками, мы их не рассматриваем. Заметим только еще раз, что потенциал всюду определяется из условия II, т. е. при помощи стрелок, идущих вдоль участков, пропускная способность которых использована не полностью.

В заключение остановимся на вопросе о возможности практического использования разобранных выше методов.

Решение задачи А, которое позволяет установить наиболее рациональную схему перевозок для данного однородного груза, может быть использовано при составлении плана перевозок важнейших массовых грузов: цемента, строительного леса, угля (для энергетических целей),[7] сахара, соли, зерна и др. Кроме того, с помощью описанного выше способа, как мы упоминали, решается вопрос о рациональном обороте порожняка.

Решение задач Б и В может быть применено при одновременном планировании перевозок нескольких массовых грузов с учетом загрузки магистралей и оборота порожняка.

Конечно, при составлении реального плана перевозок должны быть учтены и некоторые дополнительные обстоятельства, которые не были приняты во внимание в рассмотренной, в известной мере отвлеченной схеме. Однако это не может служить серьезным препятствием к применению предлагаемого метода. Во-первых, наиболее важные из этих дополнительных обстоятельств (использование водного транспорта, учет загрузки некоторых железнодорожных узлов, учет угловых заездов и др.) могут быть также учтены при помощи приемов, основанных на использовании того же основного метода. Во-вторых, другие обстоятельства, значительно реже оказывающие влияние (скорость и надежность данного пути и др.), могут быть учтены после того, как будет найдено решение задачи. Имея основную правильную и рациональную схему перевозок, нетрудно внести в нее отдельные коррективы, тем более, что данный метод позволяет оценить, насколько данные коррективы отклоняют план от наивыгоднейшего (ср. замечание на стр. 128) и потому дает возможность внести их наилучшим образом.

[7] Когда речь идет об углях разной калорийности, решение вопроса не подходит прямо под задачу А, но может быть к ней сведено.

Как мы уже говорили, решение задачи А, а также задач Б и В вполне осуществимо при помощи указанных методов даже в весьма сложных случаях.[8] Трудности и расходы, связанные с составлением такой рациональной схемы, совершенно незначительны и не могут итти ни в какое сравнение с теми результатами, которое могли бы дать ее использование. Сокращение даже на один процент среднего пробега ряда массовых грузов имеет общегосударственное значение.

В настоящей работе мы рассматривали вопрос о планировании перевозок, предполагая объемы производства и потребления продукта (в отдельных пунктах) заданными. Не входя в подробности, отметим, что предлагаемые методы могут быть использованы также при учете транспортных вопросов, связанных с планированием объема производства и потребления в различных пунктах. Однако последний вопрос не может решаться только с точки зрения транспорта, а для решения его требуется одновременно полный анализ условий производства и потребления в каждом пункте.

Для автоматического решения задач A и B могла бы быть предложена гидравлическая или электрическая модель. Мы не приводим их описаний, так как изложенный расчетный метод настолько прост, что изготовление этих моделей вряд ли целесообразно.

Член-корр. АН СССР В. В. Звонков

ТИПИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

В предвоенный период, хозяйство Советского Союза развивалось исключительно быстрыми темпами. В то же время водный транспорт, как было отмечено товарищем Сталиным на XVIII съезде ВКП (б) в 1939 г., отставал в своем развитии.[1] Несмотря на это, водный транспорт перед Великой Отечественной войной в 1940 г. находился на несравненно более высоком технически-эксплоатационном уровне, чем в дореволюционной России.

В первые годы войны фашистские захватчики нанесли водному транспорту огромный ущерб: были взорваны многие крупнейшие гидротехнические сооружения, уничтожены и повреждены тысячи речных и морских судов, разрушены и повреждены первоклассные порты и судоремонтные предприятия.

Законом о восстановлении и развитии народного хозяйства СССР на период 1946—1950 гг. перед водным транспортом поставлена важнейшая задача — значительно увеличить и улучшить использование его средств провозной и пропускной способностей. О масштабе строительства на водном транспорте в четвертом пятилетии можно судить по сумме намеченных капиталовложений: на речной транспорт было выделено около 3.5 млрд. руб. (с учетом транспортных сооружений в гидротехнических узлах) и на морской транспорт 2.66 млрд. руб., что превышает капиталовложения, отпущенные на водный транспорт в две первые пятилетки.

Увеличение грузооборота в четвертом пятилетнем плане по сравнению с довоенным предусмотрено: на железнодорожном транспорте — на 28 %, на внутреннем водном — на 38 % и на морском — на 220 %.

[1] И. Сталин, Отчетный доклад на XVIII съезде Партии о работе ЦК ВКП(б), Госполитиздат, 1939, стр. 30.

Все это говорит о большом значении водного транспорта в общетранспортном балансе Советского Союза.

Но речь идет не только об огромном росте перевозок и значительном увеличении технической базы водного транспорта, а также и о резком качественном повышении этой базы, о значительном улучшении ее эксплоатации, для того чтобы поднять водный транспорт на несравненно более высокий уровень.

Характерной особенностью водного транспорта в настоящее время является огромная разнотипность его основных технических средств: судов, путевых сооружений, портов, судоремонтных предприятий. Эта пестрота технического вооружения водного транспорта объясняется в значительной мере не только разнообразием природных условий водных путей, но также недостаточным вниманием к вопросам типизации производственных средств водного транспорта. Кроме того, в составе технического оборудования водного транспорта до сих пор сохранились еще суда устаревших конструкций, шлюзы старой постройки, старые пристани и судоремонтные заводы, которые хотя и были модернизированы, но в своем общем плане и устройстве носят следы далекого прошлого.

Разнообразие и отсутствие взаимозаменяемости в типах и размерах производственных средств водного транспорта чрезвычайно осложняют и удорожают мероприятия по развитию и эксплоатации его технической базы и ограничивают возможности более широкого использования ее в военно-транспортном отношении.

В условиях предстоящего огромного расширения производственной базы водного транспорта эти трудности могут сильно возрасти, если не изменить характера технической взаимосвязи между его основными производственными средствами.

Какие же принципы и направления целесообразно наметить в переустройстве производственных средств водного транспорта?

Дальнейшее развитие технических средств водного транспорта требует не только научного обоснования выбора отдельных типов сооружений, судов и оборудования, но также и установления целесообразной связи между ними, чтобы в целом была обеспечена наивысшая производительность труда в производстве и эксплоатации этих объектов, чтобы была достигнута наибольшая эффективность вложений при минимальной себестоимости перевозок; наконец, чтобы в максимальной степени были обеспечены массовые перевозки. Научное обоснование и решение задач по техническому перевооружению водного транспорта на базе типизации и улучшения его эксплоатации является в настоящее время важнейшим государственным делом, от своевременного и удачного разрешения которого зависит, по существу, будущее водного транспорта.

Практика речного и морского судоходства знает четыре основные группы технических нормативов, в сильнейшей степени влияющих на его качественные результаты, а именно: глубина транзитных путей и у причалов портов, грузоподъемность судов, скорость их хода и нормы производительности перегрузочных машин.

Между этими нормативами нами установлены аналитические связи, найдены наивыгоднейшие ответы для каждого из них по минимуму себестоимости перевозок и эффективности вложений на 1 тонно-км перевозок в зависимости от размеров движения и местных условий судоходства.

Вследствие крайнего разнообразия водных путей Советского Союза по народнохозяйственному значению, гидрологическому состоянию, технической вооруженности и экономическим возможностям оказалось наиболее рациональным сосредоточить технико-экономические взаимосвязи между отдельными элементами водного транспорта в документе, названном нами «Основные параметры классификации водных путей». Этот документ служит исходным материалом при установлении параметров для отдельных видов типового технического вооружения водного транспорта.

Основные параметры классификации внутренних водных и морских путей базируются на следующих трех группах показателей:

1) *Показатели общетранспортного значения* в связи с классификационными признаками других видов сообщений: по видам сообщений — общесоюзные (трансокеанские для морских путей), междурайонные (трансморские для морских путей), внутрирайонные и подъездные (малые реки для внутреннего водного транспорта и прибрежные сообщения для морского транспорта); по скоростям движения, грузоподъемности подвижного состава; по потребным капиталовложениям и эксплоатационным расходам на 1 тонно-км перевозок.

2) *Транспортно-гидрологические показатели*: средние и минимальные навигационные глубины судовых ходов и каналов, глубины у причалов портов, габаритные размеры камер шлюзов, габариты максимальных головных судов, допускаемых к плаванию для различных классов водных путей, продолжительность навигации, пропускная способность водных путей и портов, а также некоторые вторичные показатели.

3) *Транспортно-экономические показатели*: капиталовложения и эксплоатационные расходы отдельно по подвижному составу, пути и портам; минимальные размеры движения, оправдывающие капиталовложения и стоимость перевозок.

Каждый вид названных речных и морских сообщений распределен на соответствующие классы водных путей.

Наивыгоднейшие габариты водных путей, каналов и глубины у причалов портов установлены непроизвольно, а аналитическим путем, на основе их соответствия эффективности капиталовложений и минимуму себестоимости перевозки, в зависимости от размеров движения для отдельных классов водных путей. Например, для внутреннего водного транспорта вместо ранее нерегламентированных и крайне разнообразных по габаритам путевых сооружений предусмотрено ограниченное количество типовых шлюзов, что обеспечивает в дальнейшем установление более эффективных габаритов судов.

В области транспортного флота нужно обратить внимание на высокую строительную стоимость судов по сравнению с железнодорожным подвижным составом. В 1941 г. стоимость буксирного парохода мощностью 300 л. с. была в то время в 3 раза более, нежели стоимость товарного паровоза серии ФД. Стоимость одной тонны «металла в деле» у буксира в 4.5 раза выше, чем у паровоза. Если сравнивать строительные стоимости, приходящиеся на 1 л. с., то разница возрастает до 40 раз не в пользу буксиров. Причина такого значительного разрыва в строительной стоимости подвижного состава объясняется тем, что суда строились в значительной мере старым, индивидуальным способом, а строительство локомотивов и вагонов подчинено серийному, поточному способу производства.

Определение необходимого минимального числа типов судов, наиболее отвечающих задачам судоходства, является первоочередной важнейшей задачей. Исходя из этого, установлено соответствующее минимальное количество наивыгоднейших несамоходных типовых сухогрузных металлических, деревянных и металлических наливных судов, габариты и грузоподъемности которых согласованы с габаритами пути и условиями эксплоатации для отдельных классов внутренних водных путей.

В числе экспериментальных судов предлагается новый тип несамоходного судна, предназначенный для толкания и буксировки, с габаритными размерами в плане, кратными между собой.

Судно наименьшего типового размера может перевозиться на четырехосных железнодорожных платформах.

В качестве судовых силовых установок для самоходных судов приняты типовые и наиболее эффективные многооборотные паровые машины и двигатели внутреннего сгорания для жидкого топлива и газа. Параметры этих установок даны для ближайшего времени (исходя из возможностей машиностроения) и перспективного периода с учетом последних достижений науки и техники. В частности, предполагается введение унифицированных паровых машин с давлениями 19—21 ат, в перспективе до 55 ат. При этом один конструктивный типо-размер при сдвоенных машинах и многовальных установках в состоянии перекрыть мощность пароходов от 200 до 400 л. с. Можно предполагать, что удельный вес такой машины будет равен около 6 кг на 1 л. с., а расход пара 3.5—3.7 кг на 1 л. с./час. В качестве базы для двигателей внутреннего сгорания приняты шестицилиндровые двигатели трех мощностей: 60, 150 и 300—400 э. л. с., которые обеспечивают потребную мощность теплоходов от 60 до 1200 э. л. с. Габариты этих двигателей почти вдвое меньше габаритов двигателей старой постройки, а расход топлива составит 0.18—0.21 кг на 1 л. с./час.

Изучаются также вопросы дальнейшего расширения применения принципов электродвижения судов и внедрения газовых турбин.

При использовании новых силовых установок можно будет значительно уменьшить габариты судовых корпусов, а следовательно, и количество потребного металла. Например, буксирные пароходы в 400 л. с. с обычной вертикальной паровой машиной имеют корпус длиной 40 м, а с новыми унифицированными машинами длина корпуса будет всего 25 м. Буксирный винтовой теплоход в 450 л. с. будет в 2.5 раза меньше колесного буксирного парохода той же мощности, но старой постройки.

Аналогичные работы ведутся также по обоснованию реконструкции морских транспортных судов.

На водных путях Советского Союза имеется более 700 портов, и еще более остановочных пунктов, которые по своему народнохозяйственному, транспортному значению и экономическим показателям неоднородны, а по техническому вооружению крайне разнообразны и в большинстве не отвечают современным требованиям.

Для рационального развития и эксплоатации речного портового хозяйства разрешены три основные задачи: 1) разработаны принципы классификации речных портов на пять категорий по наиболее важным транспортным показателям; 2) установлен требуемый состав их технического вооружения; 3) намечены типовые компоновки портов и определены параметры типового

364—1

оборудования, а именно: причалы (вертикальные, полуоткосные и откосные), вокзалы (береговые и пловучие), склады закрытые и навесы, перегрузочные машины (краны с ограниченной зоной действия, передвижные транспортеры, пневматические перегружатели, внутрипортовое безрельсовое оборудование).

Эти же задачи должны быть разрешены и для морских портов.

Значительная часть судоремонтных предприятий внутреннего водного транспорта исторически развивалась на базе небольших затонских мастерских отдельных судоходных предприятий. В советское время судоремонтные предприятия подверглись значительной реконструкции, что позволило организовать судоремонт более рационально. В настоящее время имеется 188 судоремонтных речных предприятий, разнообразных по своему устройству и оборудованию, с недостаточно четкой специализацией. Значительным недостатком большинства современных судоремонтных предприятий является также отсутствие серийности и поточности в организации судоремонта.

Значительный рост подвижного состава и необходимость повышать техническое состояние современного флота требуют особого внимания к техническому совершенствованию судоремонтных предприятий на базе новейших достижений в технологии судоремонта. Одной из серьезных и первоочередных задач при этом является установление нормативов типового технического вооружения и рациональной типовой планировки цехов судоремонтных предприятий.

Основными параметрами классификации судоремонтных предприятий служит количество ремонтируемых судов с распределением их по категориям ремонта, количество изготовляемых вспомогательных механизмов (отливок, поковок), а также валовая стоимость выпускаемой продукции.

По этим показателям было установлено шесть разрядов речных судоремонтных предприятий, типы их компоновки и соответствующая техническая вооруженность.

Важнейшим элементом судоремонтных предприятий являются судоподъемные средства: эллинги, доки, слипы. Однако в результате подсчета установлено, что при напряженной эксплоатации существующих судоподъемных средств можно обеспечить лишь 35—40 % докуемых судов от потребности. В этих условиях приобретает важное значение намеченная типизация судоподъемных средств, габаритные размеры которых находятся во взаимосвязи с габаритами судов.

Опыт Великой Отечественной войны показывает, что водный транспорт, помимо выполнения народнохозяйственных

перевозок, должен был разрешить еще четыре важные задачи:

1) обеспечить значительную перевозку войск, эвакуируемых и раненых и военно-снабженческих грузов, что освободило от погрузки многие сотни тысяч железнодорожных вагонов;

2) приспособить многие сотни судов для устройства паромных и мостовых переправ, которые способствовали успехам Советской Армии на реках Днепр, Дон, Волга и др.;

3) подготовить и переоборудовать транспортные суда для военных флотилий и для вспомогательных военных целей;

4) использовать судоремонтные предприятия для организации производства боевого снаряжения.

При выполнении этих задач, в особенности в области массовых перевозок, имелись серьезные затруднения, являющиеся в основном результатом разнообразия и слабости технических средств водного транспорта, которые должны быть устранены.

Путем типизации технических средств водного транспорта можно организовать серийное, массовое производство, обеспечить важнейшее требование — быструю взаимозаменяемость этих средств.

Созванная по решению Президиума Академии Наук СССР в 1947 г. конференция по классификации и типизации водного транспорта, в которой участвовало 125 делегатов от 47 научно-исследовательских, учебных и проектных организаций и 15 центральных управлений министерств, в своих решениях признала исключительно важное значение этой научной проблемы и правильность комплексного решения ее. Коллегия Министерства речного флота СССР отметила исключительную ценность работы по классификации и типизации водного транспорта и рекомендовала внедрять ее результаты при проектировании и строительстве судов и сооружений внутреннего водного транспорта.

Большое значение для внедрения в жизнь намеченных мероприятий по типизации технических средств внутреннего водного транспорта имеет постановление Всесоюзного комитета стандартов при Совете Министров Союза ССР от 8 мая 1947 г. по докладу автора: «Итоги работы по комплексной типизации технических средств внутреннего водного транспорта». В постановлении Комитета признано, что «работа технически и экономически обоснована» и имеет важное значение для народного хозяйства СССР.

Материалы по классификации и типизации водного транспорта приняты в качестве перспективного плана стандартизации и нормализации МРФ СССР.

Была также одобрена и методика проведения данной работы. Всесоюзный комитет стандартов постановил: «считать целесообразным провести аналогичные работы по комплексной стандартизации основных технических средств других отраслей народного хозяйства и в первую очередь по: а) железнодорожному и морскому транспорту, б) сельскому хозяйству, в) угольной и нефтяной промышленности».

В настоящее время в Министерстве речного флота СССР разрабатываются проекты типовых судов и сооружений на основе принятых решений Всесоюзного комитета стандартов при Совете Министров СССР.

Одновременно в Академии Наук СССР выполнена аналогичная работа в части морского транспорта.

Технический совет Министерства морского флота СССР, заслушав 15 июля 1948 г. результаты этой работы, в своем постановлении указал, что эта работа освещает важную для морского транспорта задачу по обеспечению взаимосвязи параметров наиболее эффективных типовых судов и портов, а также одобрил основные выводы работы для использования при проектировании и строительстве типового оборудования морского транспорта.

Канд. техн. наук А. И. Дегтерев

УСКОРЕНИЕ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Скорость доставки грузов $v_{гр}$

Одним из основных эксплоатационных показателей количества работы железнодорожных линий является скорость доставки грузов ($v_{гр}$), которая при определенной дальности перевозки (L) и времени продвижения груза от производителя до потребителя ($T_{гр}$) может быть выражена формулой:

$$v_{гр} = \frac{L}{T_{гр}}. \qquad (1)$$

Время продвижения груза ($T_{гр}$) может быть разбито на два слагаемых:

$T_{пер}$ — время, затрачиваемое собственно на перевозку груза, и

$T_{ск}$ — время на подготовительные операции по приемке и сдаче груза на склад.

Подставляя эти значения в формулу (1), получим:

$$v_{гр} = \frac{L}{T_{пер} + T_{ск}}. \qquad (2)$$

Из формулы (2) следует, что для увеличения скорости доставки груза необходимо стремиться к уменьшению затраты времени на перевозку груза ($T_{пер}$) и на подготовительные операции ($T_{ск}$).

Время, затрачиваемое на перевозку груза ($T_{пер}$), может быть представлено в виде трех слагаемых:

1) времени прохождения грузом тяговых участков ($T_{уч}$),

2) времени простоя груза на станциях с основным и оборотным депо ($t_д$),

3) времени простоя груза на станциях погрузки и выгрузки $t_с$ (сортировка, формирование и пр.).

Тогда время, затраченное собственно на перевозку груза, может быть выражено формулой:

$$T_{пер} = T_{уч} + Kt_д + t_с, \qquad (3)$$

где $K = \frac{L}{l_т}$

$l_т$ — длина тягового плеча,

L — дальность перевозки.

Выражая $T_{уч}$ через среднюю скорость $v_{уч}$ и дальность перевозки L, получим:

$$T_{пер} = \frac{L}{v_{уч}} + \frac{L}{l_т} t_д + t_с.$$

Тогда формула (2) примет вид:

$$v_{гр} = \frac{L}{L/v_{уч} + L/l_т\, t_д + (T_{ск} + t_с)} = \frac{1}{1/v_{уч} + \frac{t_д}{l_т} + \frac{T_{ск} + t_с}{L}}. \qquad (4)$$

Эта формула выражает скорость продвижения груза в том случае, когда груз поступает на рассматриваемый отрезок дороги L и с него же сдается получателю, а также в тех случаях, когда груз только появляется на рассматриваемом отрезке железнодорожной линии или прибывает к месту назначения.

Если же длина L представляет собой отрезок железнодорожной линии, по которому данный груз проходит транзитом, то величина $\frac{T_{ск} + t_с}{L}$ из формулы (4) выпадает. Тогда формула, выражающая скорость доставки груза, принимает вид:

$$v_{гр} = \frac{1}{\frac{1}{v_{уч}} + \frac{t_д}{l_т}}. \qquad (5)$$

Анализируя формулы (4) и (5), приходим к следующему заключению:

1) большие скорости доставки груза обеспечиваются на больших расстояниях (L), так как в данном случае удельный вес суммы времени ($t_с + T_{ск}$), затрачиваемого на простой на начальной и конечной станциях ($t_с$) и на подготовительные операции ($T_{ск}$) по приемке и сдаче груза, с увеличением этой длины уменьшается;

2) для ускорения продвижения груза необходимо уменьшать время простоя груза на начальной и конечной станциях и время на подготовительные операции ($t_с + T_{ск}$);

3) с этой же целью необходимо уменьшать время простоя вагонов на участковых станциях ($t_д$) и увеличивать среднюю длину тяговых плеч ($l_т$);

4) следует также увеличивать участковые скорости $v_{уч}$.

Исследуем влияние каждой из величин, входящих в формулу (4).

Участковая скорость $v_{уч}$

Под участковой скоростью разумеется скорость движения поезда в пределах участка, с учетом разгонов, замедления и остановок на промежуточных станциях. Выражая это в виде формулы, получим:

$$v_{уч} = \frac{l_т}{\Sigma t_х + \Sigma\tau_р + \Sigma\tau_з + \Sigma\tau_{ст}}. \qquad (6)$$

Здесь $\Sigma t_х$ — время нахождения поезда собственно в движении;

$\Sigma\tau_р$ — время, затрачиваемое на разгоны;

$\Sigma\tau_з$ — время, затрачиваемое на замедление;

$\Sigma\tau_{ст}$ — сумма стоянок поезда на промежуточных станциях участка.

Как показывает опыт, при более совершенных видах тяги время нахождения поезда собственно в движении ($\Sigma t_х$) уменьшается за счет свойств тяговой характеристики электродвигателя. Особенно это проявляется на дорогах с большим эквивалентным подъемом.

Суммарное время на разгон и замедление при введении более совершенных видов тяги сокращается как вследствие большей величины разгона, так и благодаря уменьшению количества остановок, которое может быть сокращено при одной и той же провозной способности вследствие сокращения числа пар поездов, а также количества сокращений на однопутных линиях и остановок на двупутных линиях.

Величина $\Sigma\tau_{ст}$ при совершенных видах тяги также меньше, так как сокращается общая продолжительность стоянок вследствие отсутствия необходимости делать их для набора воды и чистки топки. Кроме того, как указано выше, сокращается количество остановок, что также оказывает влияние на величину участковой скорости.

Мы принимаем участковые скорости при тепловозной и электровозной тяге одинаковыми, исходя из того, что оба эти рода тяги должны быть взаимозаменяемыми, т. е. в случае надобности (например, при повреждении источника энергии или открытии движения на строящейся линии до полного окончания сооружения источника энергии) на некоторый срок электрическая тяга может быть заменена тепловозной.

Как следует из рассмотрения практических данных, техническая скорость движения поезда при электрической тяге составляет 85% от ходовой скорости, а участковая скорость 75—80% от технической.

Исходя из изложенных выше предпосылок, подсчитаем примерную среднюю величину участковой скорости при паровой и электрической тяге.

Предположим, что скорость движения на руководящем подъеме при паровой тяге с учетом перспективы составит 22—30 км/час, а на прочих участках профиля 50 км/час; при электрической тяге соответственно 30—50 и 70 км/час. Принимаем, что для паровой тяги протяженность линии с руководящими подъемами равна 33% и с прочими подъемами, спусками и площадками 67%, а для электрической тяги протяженность участков с руководящими подъемами составляет 50%. Тогда средние ходовые скорости получатся равными:

1) при паровой тяге:

$$0.33 \cdot 22 + 0.67 \cdot 50 = 41 \text{ км/час;}$$
$$0.33 \cdot 30 + 0.67 \cdot 50 = 50 \quad »$$

средняя $v_{уч} = 45$ км/час;

2) при электротяге:

$$0.50 \cdot 30 + 0.50 \cdot 70 = 50 \text{ км/час;}$$
$$0.50 \cdot 50 + 0.50 \cdot 70 = 60 \quad »$$

средняя $v_{уч} = 55$ км/час.

Средняя техническая скорость может быть принята равной: при паровой тяге

$$45 \cdot 0.75 = 34 \text{ км/час;}$$

при электротяге

$$55 \cdot 0.85 = 47 \text{ км/час.}$$

По полученной таким образом величине технической скорости и принятых коэффициентах подсчитаем примерную участковую скорость, в км/час (табл. 1).

Таблица 1

Вид тяги	Железная дорога	
	однопутная	двупутная
Паровая тяга	$34 \cdot 0.70 = 24$	$34 \cdot 0.80 = 27$
Электротяга	$47 \cdot 0.80 = 38$	$47 \cdot 0.90 = 42$

Эти подсчеты показывают, что:

1) при переходе на более совершенный вид тяги участковая скорость значительно увеличивается;

2) при одном и том же виде тяги после перехода на двупутное движение участковая скорость увеличивается незначительно;

3) при переходе на электротягу и двупутное движение участковая скорость увеличивается примерно в два раза.

Исследуем теперь, как влияет изменение величины участковой скорости на скорость доставки грузов,

Если в формулу (6) подставим значения: $t_д = 8$ час., $l_т = 100$ км; $(T_{ск} + t_с) = 48$ час. и $L = 1000$ км и давать различные значения для $v_{уч}$, то получим соответствующие величины в процентах скорости доставки груза $v_{гр}$ (табл. 2).

Таблица 2

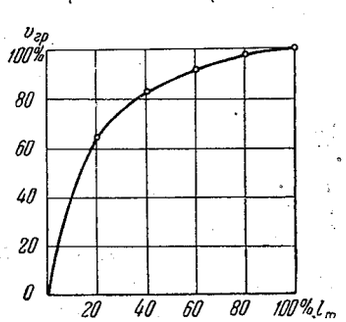
$v_{уч}$	10/20	20/40	30/60	40/80	50/100
$v_{гр}$	4.4/65.6	5.6/83.6	6.2/92.5	6.5/97	6.7/100

На основании данных табл. 2 и фиг. 1 можно заключить, что

1) участковая скорость существенно влияет на величину скорости доставки груза и

2) по мере увеличения участковой скорости ее влияние на величину скорости доставки груза уменьшается.

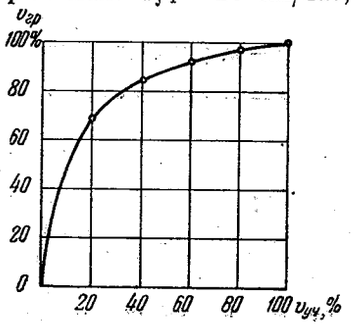
Следовательно, проведение любого мероприятия, увеличивающего участковую скорость, способствует повышению скорости доставки грузов.



Фиг. 1. Зависимость скорости доставки грузов от участковой скорости

Длина тягового плеча ($l_т$)

Произведем аналогичное исследование скорости доставки грузов при изменении длины тягового плеча (формула 6). Принимая: $v_{уч} = 20$ км/час, $t_д = 8$ час., $(T_{ск} + t_с) = 48$ час., $L = 1000$ км, подсчитаем абсолютные и относительные значения величины скорости доставки грузов при различных значениях длины тягового плеча (табл. 3).



Фиг. 2

Из анализа табл. 3 и кривой фиг. 2 следует, что увеличение длины тягового плеча оказывает значительное влияние на скорость доставки груза, причем большее, чем при тех же условиях изменение участковой скорости.

Исследуем теперь, как изменяется длина тягового плеча при переходе на более совершенный вид тяги.

Таблица 3

$l_т$	100/20	200/40	300/60	400/80	500/100
$l_{гр}$	5.6/63	7.2/82	8/91	8.4/95	8.8/100

Длина тягового плеча в самом общем виде может быть выражена следующей формулой:

$$l_т = (T_{об} - t_{бр}) \frac{v_{уч}}{2}. \qquad (7)$$

Здесь $l_т$ — длина тягового плеча, в км;
$T_{об}$ — время полного оборота локомотива, в часах;
$t_{бр}$ — время, затрачиваемое бригадой на различные операции на станциях с основным и оборотным депо, в часах;
$v_{уч}$ — средняя участковая скорость на рассматриваемом участке, в км/час.

Величина времени оборота $T_{об}$ локомотива зависит от того, на каких плечах происходит езда (коротких, длинных или удлиненных).

При коротких плечах за время оборота $T_{об}$ одна и та же бригада делает полный оборот до оборотного депо и обратно, затратив полное время непрерывной работы — 8 час. (1-я схема, фиг. 3).

При езде на длинных плечах бригада за время непрерывной работы делает рейс до оборотного депо, где сменяется, а с локомотивом возвращается другая бригада, т. е. на полный оборот $T_{об}$ затрачивается 16 час. (схема 2, фиг. 4).

При езде на удлиненных плечах бригада за время непрерывной работы доезжает до пункта смены, оттуда другая бригада, живущая в этом пункте, ведет локомотив до оборотного депо и возвращается оттуда обратно в пункт смены, затратив на это полное время непрерывной работы; с пункта смены первая бригада, отдохнувшая примерно 8 часов, вновь заступает и ведет локомотив обратно до основного депо.

В этом случае время на полный оборот локомотива составляет 24 часа (схема 3, фиг. 5).

Схема расположения депо (фиг. 3—5)

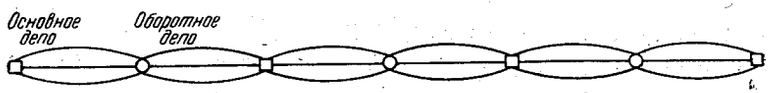
В зависимости от различных случаев езды длина тягового плеча может быть выражена формулами следующего вида:

$$l_т^к = (8 - t_{бр}^к) \frac{v_{уч}^к}{2}; \qquad (8)$$

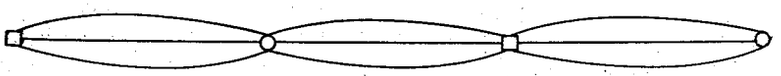
$$l_т^{дл} = (16 - t_{бр}^{дл}) \frac{v_{уч}^{дл}}{2}; \qquad (9)$$

$$l_т = (24 - t_{бр}^{удл}) \frac{v_{уч}^{удл}}{2}. \qquad (10)$$

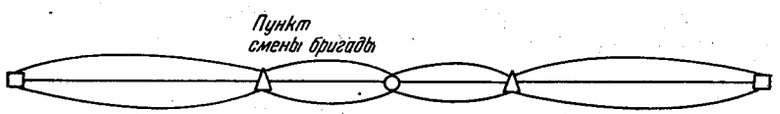
Эти формулы ясно показывают, что для увеличения длины тягового плеча необходимо всемерно стремиться к уменьшению времени, затрачиваемого бригадой на различные операции на станциях с основным и оборотным депо ($t_{бр}$) при любых способах езды, а также к увеличению участковой скорости ($v_{уч}$).



Фиг. 3. 1-я схема — при коротких плечах



Фиг. 4. 2-я схема — при длинных плечах



Фиг. 5. 3-я схема — при удлиненных плечах

Время, затрачиваемое бригадой на все операции на деповских станциях, в общем виде представляется так:

1) при коротких плечах:

$$t_{бр}^{к} = t_{под}^{ос} + t_{ст}^{ос} + t_{отпр}^{ос} + t_{пр}^{об} + t_{ст}^{об} + t_{эк}^{об} + t_{ст}^{об} + t_{отпр}^{об} + t_{пр}^{ос} + t_{ст}^{ос} + t_{эк}^{ос} + t_{сд}^{ос}; \quad (11)$$

2) при длинных плечах

$$t_{бр}^{дл} = t_{под}^{ос} + t_{ст}^{ос} + t_{отпр}^{ос} + t_{ст}^{об} + t_{эк}^{об} + t_{см}^{об}; \quad (12)$$

3) при удлиненных плечах:

$$t_{бр}^{удл} = t_{под}^{ос} + t_{ст}^{ос} + t_{отпр}^{ос} + t_{см}^{пс} + \frac{t_{пр}^{об} + t_{эк}^{об} + t_{ст}^{об} + t_{отпр}^{об}}{2}; \quad (13)$$

4) то же, в обратном направлении:

$$t_{бр}^{удл} = \frac{t_{пр}^{об} + t_{эк}^{об} + 2t_{ст}^{об} + t_{отпр}^{об}}{2} + t_{см}^{пс} + t_{см}^{пс} + t_{пр}^{ос} + t_{ст}^{ос} + t_{эк}^{ос} + t_{сд}^{ос}. \quad (13')$$

Здесь $t_{бр}^{к}$, $t_{бр}^{дл}$ и $t_{бр}^{удл}$ — время, затраченное бригадой на деповских станциях, при коротких, длинных и удлиненных плечах;

$t_{под}^{ос}$ — время на приемку и подготовку локомотива к поезду и выход к контрольному посту;

$t_{ст}^{ос}$ — время следования локомотива на станции основного депо от контрольного поста к поезду;

$t_{отпр}^{ос}$ — время нахождения локомотива на станции основного депо у поезда для прицепки локомотива, опробования тормозов и ожидания отправления;

$t_{пр}^{об}$ — время нахождения локомотива на станции оборотного депо у поезда от момента прибытия до отцепки локомотива;

$t_{ст}^{об}$ — время на проход локомотива от поезда до контрольного поста оборотного депо;

$t_{эк}^{об}$ — время нахождения поезда на станции с оборотным депо, связанное с экипировкой локомотива;

$t_{сд}^{об}$ — время на постановку локомотива в депо или сдачу другой бригаде;

$t_{ож}^{об}$ — время на ожидание на станции оборота;

$t_{ст}^{об}$ — время следования локомотива на станции оборотного депо от контрольного поста к поезду;

$t_{отпр}^{об}$ — время нахождения локомотива у поезда для прицепки, опробования тормозов и ожидания отправления поезда на станции с оборотным депо;

$t_{пр}^{ос}$ — время, затрачиваемое локомотивом на станции с основным депо у поезда с момента прибытия до отцепки;

$t_{ст}^{ос}$ — время на проход локомотива на станции основного депо от поезда до контрольного поста;

$t_{эк}^{ос}$ — время нахождения локомотива в основном депо, связанное с экипировкой.

Рассмотрим эти элементы и установим, от чего зависит их величина. Средние значения их при различных видах тяги приведены в табл. 4.

Таблица 4

Таблица средних значений оборота локомотива при различных видах тяги

№ по пор.	Элементы оборота	Обозначение	Величина (в минутах) при паровой тяге	Величина (в минутах) при электрической тяге
1	Подготовка локомотива к следованию с поездом и выход к контрольному посту	$t^{ос}_{под}$	30	20
2	Проход локомотива от контрольного поста к поезду . .	$t^{ос}_{ст}$	10	5
3	Нахождение локомотива под поездом в ожидании отправления, прицепка и проба тормозов	$t^{ос}_{отпр}$	10	10
4	Смена бригады	$t^{об}_{см}$	30	15
5	Простой локомотива под поездом по прибытии на станцию в оборотном депо	$t^{об}_{пр}$	2	2
6	Проход локомотива от поезда до контрольного поста . . .	$t^{об}_{ст}$	8	4
7	Экипировка локомотива на станции с оборотным депо . .	$t^{об}_{эк}$	30—60	—
8	Простой локомотива на станции с оборотным депо в ожидании поезда	$t^{об}_{ож}$	$\frac{720}{n}$ 0.8	$\frac{720}{n}$ 0.8
9	Нахождение локомотива под поездом в ожидании отправления, прицепка и проба тормозов на станции с оборотным депо	$t^{об}_{отпр}$	8	8
10	Простой локомотива под поездом по прибытии на станцию с основным депо	$t^{ос}_{пр}$	2	2
11	Экипировка локомотива на станции с основным депо . .	$t^{ос}_{эк}$	60—90	—

Время $t^{ос}_{подг}$ — на приемку и подготовку локомотива к поезду и выход к контрольному посту — зависит от вида тяги.

Для подготовки и приемки машины с генератором (паровоза, тепловоза) требуется времени больше, чем для подготовки и приемки электровоза, не имеющего генератора. Этим и объясняется то, что время, потребное на приемку и подготовку электровоза, меньше, чем для паровоза (табл. 4). Если принять это время для паровоза за 100%, то таковое для электровоза составит 65—70%.

Время $t^{ос}_{ст}$ и $t^{об}_{ст}$, затрачиваемое на проход локомотива от контрольного поста к поезду, зависит от вида тяги, так как применение того или иного вида тяги изменяет расположение путей на станции. Например, при электрической тяге, по сравнению с паровой, время прохождения от контрольного поста к поезду сокращается: оно составит 50—60% от того же времени при паровой тяге.

Время $t^{ос}_{отпр}$ и $t^{об}_{отпр}$ — нахождения локомотива под поездом в ожидании отправления, прицепки и опробования тормозов — от вида тяги не зависит.

Время $t^{ос}_{пр}$ и $t^{об}_{пр}$ — простоя локомотива под поездом по прибытии на станцию с депо до станции — зависит от загруженности станции. Но это время не только в абсолютных значениях невелико, но также незначительно и относительное его изменение.

Большего внимания заслуживает рассмотрение времени $t^{ос}_{эк}$ и $t^{об}_{эк}$, затрачиваемого на экипировку локомотива. При паровой тяге это время зависит от применяемого на дороге вида тяги, климатических условий, рода топлива, организации экипировки и других условий. При электровозной тяге оно равно нулю, так как набор песка и смазки — единственный элемент экипировки — может быть совмещен с другими операциями и произведен на приемо-отправочных путях или в непосредственной близости от них, на специальном тупике.

Время $t^{ос}_{сд}$, $t^{об}_{сд}$ и $t^{пс}_{см}$ — на прием локомотива одной бригадой и сдачу его другой бригадой — зависит от вида тяги. При электрической тяге оно составляет 50—60% от времени при паровой тяге.

Рассмотрим теперь, как изменяется в целом величина времени, затрачиваемого на станциях с депо ($t_{бр}$) при паровой и электрической тяге.

Применение электрической тяги значительно влияет на изменение времени нахождения локомотива на станциях с депо. Это изменение происходит главным образом вследствие умень-

шения времени на экипировку. Еще больше преимуществ в этом отношении имеет электрическая тяга с проводами. При данном виде тяги затраты времени на снабжение локомотива топливом и поворот его не требуются совсем, а следовательно, не требуется и заход электровоза для этой цели в депо.

Если организовать снабжение электровоза песком и смазкой, а также обтирочным материалом на приемо-отправочных путях, что не представляет каких-либо трудностей, то в продолжение всего интервала между периодическими осмотрами электровоз может совсем не заходить в депо.

Пользуясь табл. 4 и формулами (11)—(13), получим величины затрат времени локомотивом на деповских станциях ($t_{бр}$) для различных видов тяги при езде на коротких, длинных и удлиненных плечах (табл. 5).

Таблица 5

Величина $t_{бр}$ для различных тяговых плеч и видов тяги

Вид тяги	$t_{бр}^{к}$ при езде на коротких плечах		$t_{бр}^{дл}$ при езде на длинных плечах		$t_{бр}^{удл}$ при езде на удлиненных плечах		%
	мин.	час.	мин.	час.	мин.	час.	
Паровая	180	3.0	120	2.0	240	4.0	100
Электровозная	62	1.03	46	0.77	85	1.4	35

Если применение кольцевой езды при паровой тяге дает большой эффект, то при электрической тяге это скажется еще в большей степени, потому что в данном случае нет необходимости в таком частом заходе электровоза в депо, так как для него не требуется экипировка и он может заходить в депо только для периодического осмотра. Аварийный ремонт в данном случае в расчет не принимается. При кольцевом способе езды (по 4-й схеме) время, затрачиваемое локомотивом на деповских станциях, может быть выражено формулой:

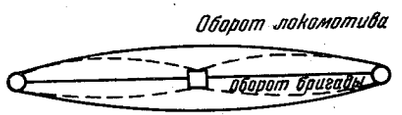
$$t_{бр}^{кольц} = t_{см}^{ос} + t_{пр}^{об} + t_{ст}^{об} + t_{эк}^{об} + t_{ст}^{об} + t_{отпр}^{об} + t_{см}^{ос}. \qquad (14)$$

Как видно из сопоставления формул (11) и (14), при этом способе езды сокращается время нахождения локомотива на деповских станциях главным образом за счет времени пребывания локомотива в основном депо ($t_{см}^{ос} < t_{пр}^{ос} + t_{ст}^{ос} + t_{эк}^{ос}$)

под экипировкой. Поэтому естественно, что в случае применения кольцевой езды при паровой тяге получается экономия во времени, в отдельных случаях до 40%; при электрической тяге эта величина значительно снижается и составляет примерно 20%.

К недостаткам кольцевой езды, при которой смена локомотивных бригад происходит на станции с основным депо (фиг. 6), надо отнести следующее:

1. Пропуск всех поездов без отцепки локомотива мимо станции с основным депо, которое обычно располагается в узловых пунктах на станциях формирования и расформирования поездов, в пунктах зарождения грузов и перелома весовых норм; при этом значительная часть поездов подвергается переработке. Перецепка же в этом месте локомотива к другому поезду вызывает излишний простой, так как момент перецепки может не совпадать с моментом готовности другого поезда к отправлению. Это значительно ограничивает сферу применения кольцевой езды.



Фиг. 6. Схема оборота локомотива при кольцевой езде

2. В случае необходимости произвести случайный ремонт приходится отцеплять локомотив от поезда и направлять его в основное депо, что прерывает кольцевую езду.

3. Производство мелкого ремонта на приемо-отправочных путях станции с основным депо весьма затруднительно, ввиду значительного удаления приемо-отправочных путей от мастерских и кладовых депо, что затрудняет пользование ими. Производство осмотра и ремонта локомотива в оборотном депо, где имеются недостаточно оснащенные мастерские и кладовые запасных частей, с необходимыми деталями осложняет работу.

4. Необходимо развивать экипировочные устройства на станциях с оборотным депо, так как при кольцевой езде сюда переносится полная экипировка; в то же время существующая, часто прекрасно оборудованная, экипировка на специальных экипировочных путях станций с основным депо остается неиспользованной. Для частичной экипировки кольцевых локомотивов требуется оборудование приемо-отправочных путей станций с основным депо кочегарными канавами и механизированной шлакоуборкой, что на развитых станциях бывает затруднительно и требует значительных капиталовложений. Этот пункт относится главным образом к паровой тяге.

Все эти недостатки в значительной степени сокращают возможность применения кольцевой езды. Если этот способ езды изменить в том смысле, что оборот локомотивов организовать в основном депо, а смену локомотивных бригад — в оборотном депо или в пункте оборота, то этот вариант кольцевой езды, предложенный Мостранспроектом, дает следующие преимущества по сравнению с первым вариантом:

1) обеспечивается больший охват локомотивов кольцевой ездой, так как в этом случае пункт оборота локомотива совпадает с пунктом формирования поездов, а проход локомотива без отцепки от поезда производится через станцию, где поезда не перерабатываются;

2) упрощается переход на кольцевую езду, так как не требуется развитие экипировочных устройств в пункте оборота или в оборотном депо, а используются существующие устройства на станции с основным депо;

3) создаются лучшие условия локомотивным бригадам для осмотра и проведения ремонта, так как эти работы могут выполняться бригадой в своем депо. Кроме того, бригада во время ожидания поезда может производить технический осмотр и мелкий ремонт со сменой отдельных деталей в крытых стойлах, используя инструмент, кладовую запасных частей и подсобные мастерские основного депо; все это создает необходимые условия для содержания локомотива в хорошем техническом состоянии и способствует безаварийной работе локомотивов между промывочными ремонтами и периодическими осмотрами;

4) значительно сокращается эксплоатационный штат на станции смены бригад, так как бывшая станция оборота локомотива или оборотное депо становятся обычными промежуточными станциями;

5) ускоряется продвижение поездов, сокращается стоянка поездов в пунктах смены бригад, так как в этом случае стоянка на этих станциях определяется только продолжительностью смены локомотивных бригад;

6) увеличивается расстояние между основными депо, а тем самым сокращается количество основных депо на рассматриваемой длине железнодорожных линий.

Наряду с изложенными преимуществами этого варианта кольцевой езды имеются и недостатки, к которым надо отнести:

1) необходимость перебазирования локомотивных бригад из основного депо в оборотное или в пункт смены, что может потребовать значительных капитальных вложений на постройку жилых и культурно-бытовых зданий при переводе на этот вариант кольцевой езды существующей линии; этот недостаток отсутствует на вновь строящихся линиях;

2) по сравнению с первым вариантом кольцевой езды при этом варианте оборот локомотива переносится на загруженную участковую станцию, что может чрезмерно загрузить горловины;

3) в последнем рейсе перед промывочным и периодическим ремонтом на локомотиве должна следовать еще одна бригада, которой необходимо платить суточные за время нахождения в основном депо при промывочном ремонте или периодическом осмотре;

4) возможность появления основных депо (при большом движении) с чрезмерно большим количеством локомотивов, руководить которыми становится затруднительным.

Произведенные примерные подсчеты величин $t_{бр}$ при различных видах тяги и способах езды приведены в табл. 6.

Таблица 6

Величины $t_{бр}$

Способы езды	Абсолютные величины $t_{бр}$ (часы)		Относительные величины $t_{бр}$, %	
	Паровая тяга	Электровозная	Паровая тяга	Электровозная
Плечевая	2.41	1.10	100/100	100/46
Кольцевая	1.97	0.96	82/100	87/47

Анализ этой таблицы приводит к следующим выводам:

1) при переходе на кольцевую езду сокращается время простоя локомотивов; это сокращение отражается в большей степени на тех видах тяги (паровая), которые затрачивают большее время на экипировку; экономия же времени за счет незахода в депо в пункте смены бригад получается примерно одинаковой для любого вида тяги;

2) при более совершенном виде тяги получается экономия времени $t_{бр}$, затрачиваемого на деповских станциях, например, при электрической тяге эта экономия превышает 50%.

Исследовав изменение времени простоя локомотива на деповских станциях $t_{бр}$ и величины участковой скорости $v_{уч}$ при переходе на более совершенный вид тяги, рассмотрим, как

изменяются в абсолютных значениях длины тяговых плеч под влиянием изложенных выше факторов. Для этого величины $t_{бр}$ возьмем из табл. 5, а участковую скорость $v_{уч}$ — из табл. 1.

Подсчеты длин тяговых плеч на однопутных и двупутных линиях при паровой и электровозной тяге сведены в следующую таблицу.

Таблица 7

Длины (в км) тяговых плеч

Вид тяги	Характеристика плеч	Однопутные линии	Двупутные линии
Паровая	Короткие плечи	$(8—3)\cdot\frac{24}{2}=60$	$(8—3)\cdot\frac{27}{2}=70$
	Длинные плечи	$(8—2)\cdot 24=140$	$(8-2)\cdot 27=160$
	Удлиненные плечи . .	$(12—4)\cdot 24=190$	$(12—4)\cdot 27=220$
Электрическая	Короткие плечи	$(8—1)\cdot\frac{38}{2}=140$	$(8—1)\cdot\frac{42}{2}=150$
	Длинные плечи	$(8—0.77)\cdot 38=275$	$(8—0.77)\cdot 42=300$
	Удлиненные плечи . .	$(12—1.4)\cdot 38=400$	$(12—1.4)\cdot 42=450$

Из табл. 7 следует, что при переходе на электрическую тягу длина тягового плеча увеличивается вдвое; при переходе от паровой тяги и коротких плеч к длинным при электротяге длина тягового плеча увеличивается примерно в четыре раза.

При более совершенных видах тяги длина тягового плеча увеличивается в шесть раз; на двупутных линиях длина тягового плеча на 15—20 % больше, чем на однопутных.

Влияние на скорость доставки груза времени простоя груза на деповских станциях t и времени на подготовительные операции $T_{ск}+t_с$

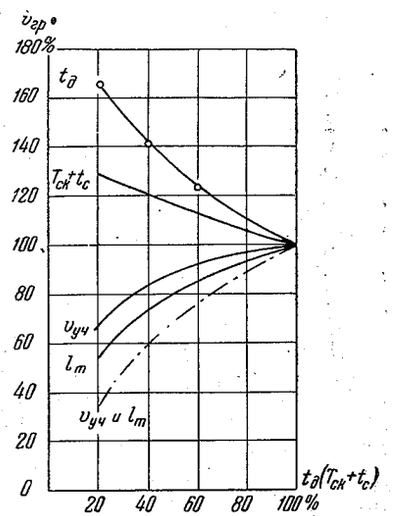
На основании формулы (6) нетрудно заключить, что для увеличения скорости доставки груза необходимо принимать меры к снижению времени простоя груза на деповских станциях $t_д$ и времени на подготовительные операции $T_{ск}+t_с$.

Рассмотрим, как изменяется скорость доставки груза при изменении каждой из этих величин.

В табл. 8 и на фиг. 7 сведены абсолютные и относительные значения скорости доставки грузов при изменении $t_д$ и $(T_{ск}+t_с)$.

Из рассмотренных величин большее влияние оказывает время простоя груза на деповской станции $t_д$ и меньшее влияние — изменение времени на подготовительные операции $T_{ск}+t_с$. Но эти величины, как указывалось раньше, не зависят от рода тяги, поэтому детально в настоящей работе не исследовались.

Если же принять в качестве переменных только $v_{уч}$ и $l_т$, то скорость доставки грузов изменится по кривой, нанесенной на фиг. 7 точкой и пунктиром ($v_{уч}$ и $l_т$), подсчеты которой приведены в табл. 9.



Фиг. 7. Зависимость скорости доставки грузов от различных элементов

Из табл. 9 следует, что с увеличением участковой скорости и длины тягового плеча при переходе на электрическую тягу скорость доставки снижается незначительно.

Таблица 8

Скорости доставки грузов

$t_д$	2/20	4/40	6/60	8/80	10/100
$v_{гр}$	8.5/166	7.2/141	6.4/125	5.6/109	5.1/100
$T_{ск}+t_с$	9.6/20	19.2/40	28.8/60	38.4/80	48/100
$v_{гр}$	7.2/129	6.7/120	6.3/113	5.9/105	5.6/100

Примечание. В числителе приведены абсолютные значения, в знаменателе — относительные.

Таблица 9

Скорость доставки грузов при различных $l_т$ и $v_{уч}$

%	20	40	60	80	100
$l_т$	80	160	240	320	400
$v_{уч}$	10	20	30	40	50
$v_{гр}$	3.66	6.24	8.28	9.43	10.75
%	34	60	77	89	100

Теперь интересно рассмотреть, как изменяется скорость доставки груза при различных видах тяги и способах езды на однопутных и двупутных линиях, пользуясь полученными данными участковых скоростей (табл. 1) и длинами тяговых плеч (табл. 7). Произведенные подсчеты сведены в табл. 10.

Таблица 10

Абсолютные и относительные величины скоростей доставки грузов

Характеристика плеч	Однопутные линии		Двупутные линии	
	Паровая тяга	Электро-тяга	Паровая тяга	Электро-тяга
Короткие	7.04 100%	11.24 160%	7.81 100%	11.70 151%
Длинные	9.61 100%	13.51 141%	10.42 100%	14.1 135%
Удлиненные	10.88 100%	14.30 132%	11.63 100%	14.95 128%

Анализ полученных данных показывает, что:

1) при переходе на более совершенный вид тяги скорость доставки груза значительно увеличивается;

2) при езде на коротких плечах переход на электрическую тягу дает наибольшее относительное увеличение скорости доставки груза;

3) при электрической тяге наибольшая величина скорости доставки грузов получается при удлиненных плечах;

4) при переходе на электротягу и на езду на удлиненных плечах скорость доставки груза увеличивается больше чем вдвое.

Применение длинных и удлиненных тяговых плеч при электрической тяге естественно, так как электрическая тяга вводится преимущественно на дорогах с большим транзитным движением, что обеспечивает быстрый оборот электровоза в оборотном депо.

При использовании длинных и удлиненных тяговых плеч сокращаются капитальные затраты и эксплоатационные расходы.

Для обеспечения использования при электрической тяге длинных (350—450 км) тяговых плеч необходимо создать условия, при которых технический осмотр вагонов будет производиться только на станциях с основными и оборотными депо кондукторами-осмотрщиками.

Канд. техн. наук С. П. Надежин

О СИЛАХ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА ОБОДЕ КОЛЕСА ПРИ КАЧЕНИИ ЕГО ПО РЕЛЬСУ, И ВЛИЯНИЕ ИХ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ

О сопротивлении при качении колес по рельсам

При определении величины основного удельного сопротивления движению локомотива и вагона обыкновенно пользовались полуэмпирическими формулами, не занимаясь вопросом о природе сопротивления. По этим формулам основное удельное сопротивление движению принималось зависящим главным образом от скорости.

В табл. 1 приведен ряд таких формул основного удельного сопротивления (в кг/т) для двуосных и четырехосных вагонов.

Таблица 1

	Формула	Кто предложил
Основное удельное сопротивление двуосных вагонов		
Для состава:		
товарного	$1.2 + \frac{0.9\ v}{q} + \frac{0.0012\ v^2}{q} + \frac{0.03}{Q}$	Петров, 1889 г.
груженого	$1.4 + \frac{v}{18}$	Х.Н.ж.д. 1922 г.
порожнего	$1.4 + \frac{v}{12}$	»
груженого	$1.5 + \frac{v}{20}$	Балдвин
порожнего	$2.1 + 0.06\ v$	НИИЖТ, 1936 г.
груженого	$1.5 + 0.036\ v$	»

Основное удельное сопротивление четырехосных вагонов		
Товарный состав	$2.8 + \frac{q_1 - 12}{700} + 0.00144\ v^2$	Лебедев, 1916 г.
То же	$0.75 + \frac{53 + 0.62}{1.1\ q + 1.0} + 0{,}000193\ v^2$	Иллинойская железная дорога, 1909 г.
»	$\frac{v + 65}{12 + 0.55q}$	Шмидт
Пассажирский вагон	$1.5 + 0.5\ v\ \frac{v + 10}{1000}$	Лебедев
То же	$1.4 + \frac{v}{50} + \frac{v^2}{5000}$	Х.Н.ж.д.
»	$1.4 + 0.017\ v + 0.0003\ v^2$	НИИЖТ

В этих формулах:

v — скорость в км/час;
q — вес вагона (груженого или порожнего) в т;
q_1 — средний вес вагона в т;
Q — вес состава, в т.

Сопоставляя эти формулы, можно убедиться, что при решении их получаются разные результаты. Так, при скорости в 50 км/час основное удельное сопротивление по наиболее старой формуле проф. Петрова составляет 8 кг/т; по формуле Х.Н.ж.д., при той же скорости для груженых вагонов, оно будет 4.2 кг/т; по формуле Балдвина — 4 кг/т, по формуле НИИЖТ — 3.3 кг/т.

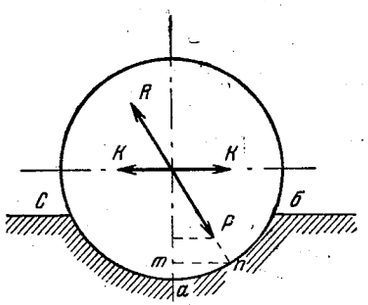
Уменьшение основного удельного сопротивления движению зависит от улучшения как конструкции ходовых частей подвижного состава, так и пути. В настоящее время, когда проблема увеличения веса и скорости является одной из основных задач железнодорожного транспорта, важно вскрыть те факторы, которые влияют на сопротивление движению, чтобы найти пути возможного снижения этого сопротивления. В данной статье рассмотрен вопрос сопротивления движению, вызываемого только взаимодействием бандажа колеса и рельса.

На свободно катящееся колесо по рельсу при наличии упругих сжатий бандажа и рельса под действием силы тяжести действуют силы сопротивления движению.

Фактически полной свободы в движении колеса железнодорожного вагона нет: вследствие глухой насадки колес

вагонного ската создается зависимость в движении обоих колес одного ската, что вызывает добавочные силы сопротивления движению. Когда же два вагонных ската установлены параллельно и не имеют свободы перемещений, например, в вагонных тележках или в двуосных вагонах, то оба эти ската уже связаны в своем движении, что также вызывает добавочное сопротивление движению.

Некоторые исследования в части определения сил сопротивления движению были проведены, как указано выше, однако они недостаточно раскрывают природу этих сопротивлений, а также основываются на условных допущениях. Например, сопротивление движению свободно катящегося колеса, так называемое «сопротивление перекатыванию колеса», принято определять в предположении несжимаемости материала бандажа и сжатия только головки рельса.[1]



Фиг. 1. Схема определения сопротивления перекатыванию колеса при отсутствии сжатия материала бандажа колеса

Предполагается, что колесо вдавливает головку рельса по весьма малой цилиндрической поверхности *саб* (фиг. 1), причем само не сжимается. Равнодействующая сил сжатия R направлена к центру колеса. Величина силы сопротивления, приложенной в центре колеса, определяется из условий равенства моментов сил относительно точки n:

$$Pmn = Kmo.$$

Вследствие малой разницы, mo проф. Короткевичем принято равной радиусу колеса R. Отсюда:

$$K = P\frac{mn}{R}.$$

Величина mn, на основании опытов Вуда и Помбура, принята равной 0.32 см.

[1] Проф. М. А. Короткевич, «Расчет и конструирование вагонов», ч. III, Машгиз, 1939; проф. Бабичков и Егорченко, «Тяга поездов», Трансжелдориздат, 1938, и др.

Проф. Короткевич указывает (как это следует и из формулы), что сопротивление перекатыванию обратно пропорционально радиусу колеса, т. е. уменьшение диаметра колеса вызывает повышение сопротивления перекатыванию, но незначительно. Однако из приведенной формулы этого не следует, так как в ней отсутствует функциональная зависимость между радиусом колеса и величиной mn.

Добавочные сопротивления движению, возникающие при движении двух колес одного вагонного ската или двух скатов одной вагонной тележки, слагаются: а) из сопротивления, вызываемого вилянием вагона; б) из сопротивления от неодинакового изнашивания колес одного вагонного ската; в) из сопротивления, зависящего от неправильной установки или сборки колесной пары. Кроме того, при принятой конической форме бандажа колеса возникает еще добавочное сопротивление, зависящее от коничности бандажа.

Величину этих добавочных сопротивлений принято определять в предположении, что при разнице в кругах катания колес одной колесной пары (как, например, во всех указанных случаях) одновременно с качением колеса происходит также его скольжение. При этом определяется тот путь, который проходит колесо скользящим движением, и определяется работа силы трения на этом пути, из которой исходят при определении величины добавочного сопротивления.

В табл. 2 приведены формулы этих добавочных сопротивлений, помещенные в курсе проф. Короткевича.

Таблица 2

Род добавочного сопротивления	Формула сопротивления, кг/т
Сопротивление, зависящее от конической формы поверхности катания колеса	$w_1' = f\frac{in}{4R}\cdot 1000$
Сопротивление, вызываемое вилянием вагона	$w_2' = f\frac{ni}{2R}\cdot 1000$
Сопротивление от неправильной установки колес	$w_3' = f\ \mathrm{tg}\ \beta\cdot 1000$
Сопротивление от неодинакового изнашивания колес одного ската	$w_4' = \frac{f}{2D}\ m\cdot 1000$

В этих формулах:

f — коэффициент трения скольжения;

R — радиус колеса в мм;
D — диаметр колеса в мм;
n — ширина поверхности соприкосновения колеса с рельсом в мм;
i — тангенс угла между образующей конической поверхностью катания и геометрической осью колеса;
β — угол между продольной осью вагона и перпендикуляром к геометрической оси колесной пары;
m — разница в диаметрах колес одного ската в мм.

Как показали многочисленные исследования, величина коэффициента трения f колеблется в весьма значительных пределах в зависимости от скорости движения, материала бандажа и рельса и состояния их поверхности, а также от невыясненных причин.

Изменение коэффициента трения, казалось бы, должно было значительно влиять на изменение величины сопротивления движению, однако при опытах этого обнаружено не было.

Сопротивление качению колеса по рельсу без проскальзывания

Чтобы уяснить себе тот процесс, который происходит при качении колеса на площадке касания бандажа с рельсом, определить зависимость силы сопротивления, возникающей при качении колеса, от упругих свойств материала рельса и бандажа, давления и радиуса колеса и рельса, а также проследить условия проскальзывания колеса, исследуем движение отдельной точки на ободе колеса в период ее движения по площадке касания.

Для придания большей ясности разграничению процесса качения и процесса скольжения напомним о той разнице, которая принята в определении так называемых коэффициентов трения скольжения и качения.

Коэффициентом трения скольжения принято называть то отвлеченное число, которое получается как частное от деления силы трения, возникающей при скользящем движении тела, на силу, передаваемую по нормали на поверхность скольжения.

Коэффициент трения качения определяется по формулам: для катков, когда сила тяги приложена в верхней точке катка, коэффициент трения качения

$$f = \frac{2FR}{P}, \qquad (1)$$

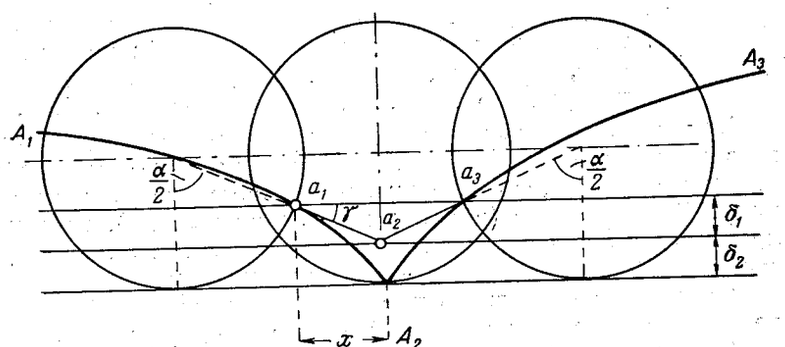
при движении же колеса, когда сила тяги приложена к оси (в центре колеса),

$$f = \frac{FR}{P}. \qquad (1a)$$

Здесь F — сила, действующая на ободе колеса или поверхности катка;
R — радиус колеса или катка;
P — давление колеса на поверхность.

Коэффициент трения качения, как видно, выражается в мерах длины (обычно в см).

При определении коэффициента трения качения предполагается, что каждая точка на ободе колеса, катящегося по



Фиг. 2. Движение точки обода колеса при упругом сжатии материала бандажа колеса и рельса

прямой MN на плоскости (фиг. 2), при условии абсолютной жесткости как колеса, так и поверхности, по которой оно катится, и при отсутствии проскальзывания, описывает циклоиду. В действительности же при качении колеса железнодорожного вагона или локомотива по рельсу происходит упругое сжатие материала как бандажа колеса, так и рельса, причем величина упругого сжатия каждого из них пропорциональна модулю упругости соответственного металла.

Величина суммарного упругого сжатия или, как называет проф. Н. М. Беляев, «сближения» (см. курс «Сопротивление материалов», 1945, гл. IX «Контактные напряжения») определяется формулой:

$$y = m_\alpha \sqrt[3]{\frac{2P^2A}{E^2}}, \qquad (2)$$

где y — суммарное упругое сжатие бандажа и рельса в см;

P — усилие, передаваемое от колеса на рельс, в кг;

E — модуль упругости металла, в кг/см² (E принимается одно как для стального бандажа, так и для стального рельса вследствие малой разницы в упругих свойствах материала);

A — определяется в зависимости от взаимного расположения поверхностей касаний ($\frac{1}{см}$); для цилиндрических поверхностей, расположенных накрест, проф. Беляев дает значение $A = \frac{1}{2R}$;

R — радиус колеса в см;

m_α — коэффициент, зависящий от отношения радиусов поверхности головки рельса и колеса; может быть взят, например, по табл. 19 курса «Сопротивление материалов» проф. Н. М. Беляева (стр. 163).

При упругом сжатии рельса и бандажа и упругом прогибе рельса как балки геометрическое место точек касания бандажа с рельсом, согласно экспериментальным исследованиям проф. Васютынского (в конце прошлого столетия), представляется в виде прямой, как это указано на фиг. 2: рельс упруго сжимается на величину $б_1$, а бандаж колеса на величину $б_2$.

Рассмотрим следующие три положения некоторой точки a на ободе колеса при движении его по циклоиде:

1) в первом положении колеса точка a необжатого бандажа подходит к необжатой головке рельса в точке a_1;

2) во втором положении колеса точка a колеса окажется в соприкосновении с головкой рельса в точке a_2; на протяжении $a_1 - a_2$ происходит сжатие бандажа колеса на величину $б_2$, а головки рельса на величину $б_1$;

3) в третьем положении при упругом сжатии точка a бандажа оказывается в точке a_3.

При надвигании деформированного бандажа колеса на деформированный рельс возникает некоторая реактивная сила D, являющаяся равнодействующей сил сжатия рельса. Сила эта действует параллельно направлению $a_2 - a_1$. Вертикальная составляющая ее равна и противоположно направлена нагрузке от колеса на рельс. Горизонтальная составляющая, которую вследствие малой разницы можно принимать приложенной на ободе колеса, представит силу сопротивления качению; ее можно найти из треугольника сил:

$$F = P \operatorname{ctg} \gamma. \tag{3}$$

Величина $\operatorname{ctg}\gamma$ находится из отношения половины горизонтального перемещения при проскальзывании точки a по рельсу x (см. фиг. 2) к величине сжатия головки рельса $б_1$:

$$\operatorname{ctg}\gamma = \frac{x}{б_1}. \tag{4}$$

Величина x определяется как абсцисса циклоиды, причем положительным направлением считается направление влево от начала координат в точке A_2:

$$x = R \arccos \frac{R-y}{R} - \sqrt{y(2R-y)}, \tag{5}$$

где R — радиус колеса;

y — суммарное сжатие рельса и бандажа колеса $б_1 + б_2$, определяемое по формуле (2).

При равенстве модуля упругости рельса и бандажа, т. е. когда $б_1 = б_2$,

$$\operatorname{ctg}\gamma = \frac{2x}{y}. \tag{6}$$

Таким образом, сила сопротивления качению

$$F = P\frac{2x}{y}. \tag{7}$$

Сила сопротивления качению F, действующая на ободе колеса, дает момент:

$$M = P\frac{2x}{y}R. \tag{8}$$

При делении его на P (вес) получается коэффициент трения качения:

$$f = \frac{2x}{y}R. \tag{9}$$

Если R выражается в см, то коэффициент трения качения также выразится в см.

В качестве примера ниже приведен расчет коэффициента трения качения колесной пары (с цилиндрическими бандажами) с колесами радиуса $R = 50$ см, статической нагрузкой, при полной разгрузке одного из колес пары (см. проф. Короткевич, «Расчет и конструирование вагонов», ч. III, стр. 48, Машгиз, 1938).

Модуль упругости как рельса, так и бандажа

$$E = 2\,100\,000 \text{ кг/см}^2.$$

Величина y суммарного сжатия (сближения) равна:

$$y = 1.33\sqrt[3]{\frac{2\cdot 4\cdot 10^8}{10^2\cdot 21^2\cdot 100^{10}}} = 0.01622 \text{ см}.$$

Величина x абсциссы циклоиды вычисляется по формуле (5):

$$x = 50 \arccos\frac{50 - 0.01622}{50} -$$

$$- \sqrt{0.01622\,(2\cdot 50 - 0.01622)} = 0.00001 \text{ см}.$$

Коэффициент трения качения (фиг. 3) равен:

$$f = \frac{2\cdot 0.00001}{0.01622}\cdot 50 = 0.062 \text{ см}.$$

При взятых нагрузках железнодорожного вагона коэффициент трения качения колеса в зависимости от изменения определяющих его факторов (E, P, R, r) заметно не изменяется, так как отношение $\frac{x}{y}$, определяющее котангенс угла циклоиды в точке a (см. фиг. 2) на весьма малом отрезке циклоиды почти не изменяется. Влияние этих факторов, однако, в значительной степени скажется при так называемых проскальзываниях колеса, постоянно сопровождающих процесс перекатывания.

Дополнительные сопротивления, возникающие при движении колесных пар

Иногда вращательное движение колеса не соответствует поступательному движению его центра тяжести, т. е. $2\pi R$ больше или меньше S, где R — радиус колеса, а S — путь, проходимый центром тяжести колеса за период его полного оборота. Подобное явление может наблюдаться в следующих случаях:

1) при неравенстве радиусов качения колес одного колесного ската, когда за период одного оборота колеса проходят путь неодинаковой длины;

2) при протормаживании колес, когда путь S, проходимый осью ската за период оборота одного колеса, больше $2\pi R$;

3) при пробоксовывании колес, когда путь S, проходимый в период одного оборота колеса, меньше $2\pi R$;

4) наконец, при конической форме бандажа, когда полный оборот колеса соответствует пройденному осью ската пути только по кругу качения колеса, на части же обода колеса,

расположенной на внутренней части поверхности головки рельса, $2\pi R_1 < S$, а на части обода колеса, расположенной с внешней части поверхности головки рельса, $2\pi R_2 > S$.

Разница между путем, проходимым осью колесного ската в период одного оборота колеса, и длиной окружности колеса ($2\pi R$) исчезает вследствие элементарных перемещений между колесом и рельсом. При этом сила сопротивления качению F, действующая на ободе колеса, с увеличением алгебраической разницы $S - 2\pi R$ увеличивается.

До тех пор пока сила F меньше силы трения скольжения, действующей между колесом и рельсом, качение колеса не нарушается и перемещения между соприкасающимися точками колеса и рельса получаются вследствие дополнительного сжатия металла бандажа и рельса. Когда же сила F увеличится настолько, что превзойдет силу трения скольжения между бандажем и рельсом, то качение колеса прекращается и колесо начинает скользить по рельсу (причем в том случае, когда $S - 2\pi R > 0$, происходит так называемый юз, если же $S - 2\pi R < 0$, то происходит боксование колеса).

Принципиальная разница между юзом и боксованием заключается в том, что при юзе происходит скользящее движение без вращения колеса, при боксовании же — вращение колеса без его поступательного движения. Первое может происходить при торможении как у локомотива, так и у вагона, второе—только у локомотива, когда сила тяги на ободе сцепных колес $F_к$ превзойдет силу трения, действующую между колесами и рельсом.

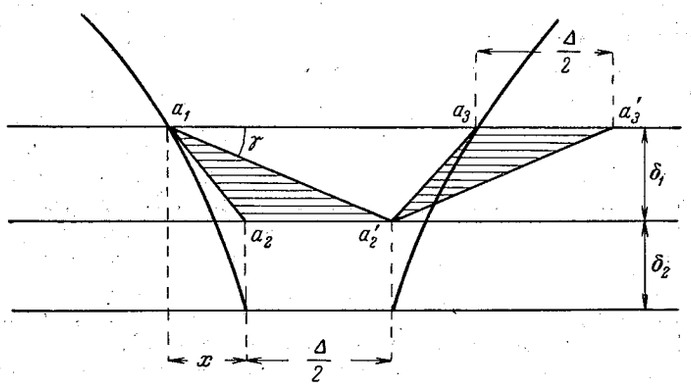
Случай, когда путь S, проходимый центром тяжести колеса при полном обороте колеса, больше $2\pi R$. Предположим, что за период полного оборота колеса его центр тяжести проходит путь S и что разница

$$S - 2\pi R = N. \tag{10}$$

Разница эта исчезает при элементарных перемещениях между соприкасающимися точками бандажа и рельса в процессе качения колеса, причем при обороте колеса на угол α (см. фиг. 3) должна исчезнуть разница в величине пути, пройденного поступательным движением центра тяжести колеса, и точкой на ободе колеса, пройденной по дуге вокруг оси вращения:

$$\Delta = \frac{N\alpha}{360}. \tag{11}$$

При качении колеса по рельсу, в том случае, когда за период оборота колеса его центром тяжести будет пройден путь $2\pi R$, от момента касания необжатой точки бандажа с необжатой же поверхностью головки рельса в точке a_1 до момента окончания процесса упругого сжатия металла бандажа в точке a_3, колесо повернется на угол α (фиг. 2).



Фиг. 3. Движение точки обода колеса при положительном проскальзывании (в сторону движения)

Если поступательное движение центра тяжести колеса за период его полного оборота больше длины окружности обода колеса, т. е. существует зависимость, выражаемая формулой (10), то в процессе перемещения точки бандажа из положения a_1 в a_3 должна исчезнуть разница Δ, согласно формуле (11), причем угол α находится из формулы (12):

$$\arccos \alpha = \frac{R - y}{R} \tag{12}$$

(фиг. 3), где R — радиус колеса;
y — суммарное упругое сжатие бандажа и рельса, определяемое по формуле (2).

Величина Δ исчезает при элементарных перемещениях точек бандажа по поверхности рельса. Процесс этих перемещений следующий (фиг. 3).

Точка a необжатого бандажа колеса подходит к необжатой головке рельса в точке a_1. Если бы при качении колеса выполнялось равенство $2\pi R = S$, где S — путь, проходимый центром тяжести колеса, то дальнейшее движение точки происходило бы в направлении $a_1 a_2$ (см. фиг. 2 и 3). В том же случае,

когда $S - 2\pi R = N$ и при движении точки от a_1 до a_3 должен быть пройден дополнительный путь, точка a путем элементарных дополнительных перемещений попадет в точку a_2, отстоящую от точки a на величину $\frac{\Delta}{2}$.

Таким образом, реакция рельса под действием набегающего бандажа колеса будет направлена параллельно линии $a_2 a_1$, величина силы F — сопротивления качению колеса равна:

$$F = P \operatorname{ctg} \gamma,$$

причем

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{2x + \Delta}{2\delta_1} = \frac{2x + \Delta}{y}; \tag{13}$$

$$F = P \frac{2x + \Delta}{y}. \tag{14}$$

Коэффициент трения качения

$$f = \frac{2x + \Delta}{y} R. \tag{15}$$

Изменение силы F (сопротивления качению, действующей на ободе колеса) в зависимости от изменения величин: нагрузки на рельс P, радиуса колеса R, радиуса рельса r и модулей упругости материала бандажа $E_б$ и материала рельсов — $E_р$ при $N = 1.0$ см/об, приведено в табл. 3.

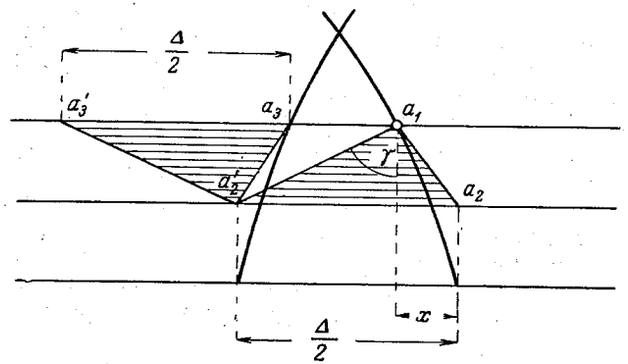
Из табл. 3 следует, что с увеличением давления на рельс, увеличением радиуса поверхности головки рельса, одинакового увеличения модулей упругости бандажа и рельса и с увеличением модуля упругости рельса при постоянном модуле упругости бандажа величина силы F на ободе колеса увеличивается; с увеличением же радиуса колеса или модуля упругости бандажа, при постоянном модуле упругости рельса, сила F уменьшается.

Случай, когда путь S, проходимый центром тяжести колес при полном обороте колеса, меньше $2\pi R$. В этом случае величина N разница между путем, пройденным за период полного оборота колеса, и длиной окружности колеса, исчезает вследствие элементарных перемещений, которые можно проследить по фиг. 4.

Точка a необжатого бандажа колеса подходит к необжатой головке рельса в точке a_1. Если бы при качении колеса выполнялось равенство $2\pi R = S$, где S — путь, проходимый центром тяжести колеса, то дальнейшее движение точки проис-

Таблица 3

P т	R см	r см	$E_б$ кг/см	$E_р$ кг/см²	F кг
5	50	30	$21 \cdot 10^5$	$21 \cdot 10^5$	934
20	50	30	$21 \cdot 10^5$	$21 \cdot 10^5$	5022
10	50	30	$21 \cdot 10^5$	$21 \cdot 10^5$	3167
10	80	30	$21 \cdot 10^5$	$21 \cdot 10^5$	2840
10	50	30	$21 \cdot 10^5$	$21 \cdot 10^5$	3107
10	50	60	$21 \cdot 10^5$	$21 \cdot 10^5$	4361
10	50	30	$20 \cdot 10^5$	$20 \cdot 10^5$	3850
10	50	30	$24 \cdot 10^5$	$24 \cdot 10^5$	4351
10	50	30	$20 \cdot 10^5$	$24 \cdot 10^5$	2992
10	50	30	$24 \cdot 10^5$	$24 \cdot 10^5$	3339
10	50	30	$24 \cdot 10^5$	$20 \cdot 10^5$	3602
10	50	30	$24 \cdot 10^5$	$24 \cdot 10^5$	3339



Фиг. 4. Движение точки обода колеса при отрицательном проскальзывании (противоположном направлению движения)

ходило по отрезку циклоиды в направлении a_1a_2. В том же случае, когда $S - 2\pi R = N$, и при движении точки от a_1 до a_3 точка на ободе колеса пройдет в направлении, обратном движению, путь Δ; точка a из положения a_1 попадет в точку a_2, отстоящую от точки a_1 на величину $\frac{\Delta}{2}$.

Таким образом, реакция под действием набегающего бандажа колеса будет направлена параллельно линии a_2a_1 и

$$\operatorname{ctg}\gamma = \frac{x - \frac{\Delta}{2}}{\frac{y}{2}} = \frac{2x - \Delta}{y}.$$

Сила, действующая на ободе колеса, равна:

$$F = P\frac{2x - \Delta}{y}. \qquad (16)$$

Коэффициент трения качения

$$f = \frac{2x - \Delta}{y}R. \qquad (17)$$

Величина силы F, действующей на ободе колеса при его качении, а вместе с тем и коэффициента качения ограничена известным пределом, началом скользящего движения колеса. Если принять, по Гальтону, коэффициент скольжения при начале движения $f = 0.242$, то при давлении колеса $P = 5$ т скольжение начнется тогда, когда сила F достигнет величины $0.242 \times 5000 = 1210$ кг; при $P = 10$ т, когда $F = 0.242 \times \times 10000 = 2420$ кг, а при $P = 20$ т, когда $F = 0.242 \times 20\,000 = = 4840$ кг.

Предложенный метод нахождения сил, возникающих на ободе колеса вагона при его движении по рельсу, облегчает решение части вопросов, связанных с сопротивлением движению на железных дорогах, а также вопросов торможения и возникновения юза.

Эти вопросы подлежат самостоятельной разработке.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Канд. техн. наук Ф. И. Шаульский. Владимир Николаевич Образцов 5

Канд. техн. наук Ф. И. Шаульский. Борис Николаевич Веденисов 10

Канд. техн. наук И. З. Романов. Владимир Александрович Сокович 13

Акад. В. Н. Образцов. Теоретические основы пропускной способности транспорта. 16

Акад. В. Н. Образцов и канд. техн. наук А. П. Петров. Применение подвижных блок-участков для усиления пропускной способности железнодорожной линии. 30

Акад. В. Н. Образцов и канд. техн. наук А. П. Петров. Определение пропускной способности автомобильных дорог на основе графического изображения движения при наличии обгонов 38

Акад. В. Н. Образцов и канд. техн. наук Д. П. Марек. Некоторые вопросы пропускной способности автодорог 50

Проф. В. А. Сокович. Об оценке качества графиков движения поездов. 59

Канд. техн. наук Ф. И. Шаульский. Пересечения разных видов путей сообщения в одном и разных уровнях 82

Канд. техн. наук А. И. Дегтерев. Графический метод расчета мощности железнодорожных линий 98

Проф. Л. В. Канторович и доц. М. К. Гавурин. Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков . . 110

Член-корр. АН СССР В. В. Звонков. Типизация технических средств водного транспорта. 139

Канд. техн. наук А. И. Дегтерев. Ускорение доставки грузов при электрической тяге 147

Канд. техн. наук С. П. Надежин. О силах, возникающих на ободе колеса при качении его по рельсу, и влияние их на сопротивление движению. 166

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета Академии Наук СССР

*

Редактор издательства *Б. Б. Веселовский.* Техн. редактор *А. А. Киселева*
Корректор *Н. Н. Певцова*

РИСО АН СССР. № 3562. А-12902. Издат № 2056. Тип. заказ. № 2388.
Подписано к печати 30/IX 1949 г. Формат бум. 60×92$^1/_{16}$. Печ. л. 11,25 Уч.-издат. л. 10
Тираж 2500. Цена в переплете 9 руб.

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР. Москва, Шубинский, 10

ИСПРАВЛЕНИЯ И ОПЕЧАТКИ

Страница	*Строка*	*Напечатано*	*Должно быть*
8	14 сн.	войны	обороны
26	гр. 8-я, 2 сн.	4435 — 620	4435 — 6200
61	табл. 2, гр. 4-я, 4 сн.	Ω.6192	2.6192
69	4 св.	управлений	уравнений
84	9 сн.	П	$t_П$
1 3	1 сн.	ординат	абсцисс
103	2 сн.	2, *б*	2, *а*
104	3-я св.	абсцисс	ординат
168	Фиг. 1		Центр колеса окружности обозначается буквой *О*. Сила *Р* направлена по линии *Оа*
177	4 св.	a_2	a_2
177	5 св.	a	a_2

Цена 9 руб.