

06  
1145

**СБОРНИК**  
**ЛЕНИНГРАДСКОГО**  
**ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

~~~~~  
**ВЫПУСК ХСІV**

— — — — —  
**ЛЕНИНГРАД**  
**1927**

СБОРНИК  
ЛЕНИНГРАДСКОГО  
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

ВЫПУСК ХСIV



ЛЕНИНГРАД  
1927

SCIENTIFIC PAPERS  
OF THE  
INSTITUTE OF ENGINEERS OF WAYS OF COMMUNICATION  
in Leningrad  
Vol. XCIV

---

MITTEILUNGEN des INSTITUTS  
der WEGEBAUINGENIEURE  
zu Leningrad

B. XCIV

## СОДЕРЖАНИЕ.

|                                                                                                                                                          | Стр. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>П. Е. Безруких.</i> —Проблемы технического руководства транспортом . . . .                                                                            | 5    |
| <i>Проф. Е. В. Михальцев.</i> —Капитал в железнодорожном предприятии . . .                                                                               | 11   |
| <i>Д. И. Каргин.</i> —Нормальная обслуженность железными дорогами . . . .                                                                                | 45   |
| <i>И. Я. Манос.</i> —Габариты подвижного состава и приближения строения к пути . . . . .                                                                 | 53   |
| <i>Проф. К. Н. Кашкин.</i> —Условия выгоды временных сооружений . . . .                                                                                  | 69   |
| <i>Проф. Д. И. Юскевич.</i> —Выбор при электрической тяге предельного подъема, средней длины перегона и пропускной способности . . . . .                 | 77   |
| <i>Н. Н. Костромитин.</i> —Применение теории вероятностей к выбору мощности тяговых подстанций . . . . .                                                 | 103  |
| <i>В. С. Хальфин.</i> —Влияние характеристик грузового потока на условия использования подвижного состава . . . . .                                      | 119  |
| <i>П. Я. Гордеенко.</i> —Руководительство грузовыми перевозками и его ближайшие задачи . . . . .                                                         | 139  |
| <i>Проф. Г. Д. Дубелир.</i> —Выбор типа шоссейных и грунтовых дорог в соответствии с размером и характером перевозок . . . . .                           | 151  |
| <i>Д. В. Ангельский.</i> —К расчету многопролетных неразрезных балок . . . .                                                                             | 167  |
| <i>В. А. Гастев.</i> —Применение графических методов к расчету ферм с жесткими узлами . . . . .                                                          | 177  |
| <i>Г. К. Евграфов.</i> —Напряжение в балках проезжей части железнодорожных мостов от деформации поясов . . . . .                                         | 191  |
| <i>Проф. Н. М. Беляев.</i> —К вопросу об изучении явлений усталости . . . . .                                                                            | 205  |
| <i>Проф. Б. Г. Галеркин.</i> —Упругая пластинка в виде равнобедренного прямоугольного треугольника под действием силы, сосредоточенной в точке . . . . . | 223  |
| Обзор научных работ Механической Лаборатории ЛИИПС'а за 1925 и 1926 г.г. . . . .                                                                         | 233  |

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>P. E. Bezroukikh</i> , Principles of technical railway management . . . . .                                                                                                                  | 5   |
| <i>Prof. E. V. Mikhaltseff</i> , The capital in railway enterprises. . . . .                                                                                                                    | 11  |
| <i>D. I. Karguin</i> , The normal density of railway system . . . . .                                                                                                                           | 45  |
| <i>I. J. Manos</i> , Rolling stock's and buildings' clearances . . . . .                                                                                                                        | 53  |
| <i>Prof. K. N. Kashkin</i> , Economics of provisional buildings . . . . .                                                                                                                       | 69  |
| <i>Prof. D. I. Iuskevitch</i> , The selection of ruling gradient, mean open line and traffic density . . . . .                                                                                  | 77  |
| <i>N. N. Kostromitin</i> , Application of the theory of probability to the selection of traction substations capacity . . . . .                                                                 | 103 |
| <i>B. C. Khaifin</i> , Influence of the traffic characteristics on the conditions of rolling stock's utilisation . . . . .                                                                      | 119 |
| <i>P. J. Gordeenko</i> , The control of freight traffic and its principal problems . . . . .                                                                                                    | 139 |
| <i>Prof. G. D. Doubelir</i> , The selection of macadam and earth roads' type corresponding to the traffic density and its character . . . . .                                                   | 151 |
| <i>D. B. Anguelsky</i> , About the design of multispans continuous girders . . . . .                                                                                                            | 167 |
| <i>V. A. Gasteff</i> , Application of graphical methods to the design of secondary stresses in trusses . . . . .                                                                                | 177 |
| <i>G. B. Evgrafov</i> , Stresses in floor girders of railway bridges due to trusses' deformation . . . . .                                                                                      | 191 |
| <i>Prof. N. M. Beliaieff</i> , About the study of metals' fatigue . . . . .                                                                                                                     | 205 |
| <i>Prof. B. G. Galerkin</i> , An elastic plate of isosceles triangle shape under a concentrated force . . . . .                                                                                 | 223 |
| The Review of scientific works, carried on by the Laboratory for testing materials of the Institute of Engineers of Ways of Communication in Leningrad during the years 1925 and 1926 . . . . . | 233 |



П. Е. Безруких

**ПРОБЛЕМЫ  
ТЕХНИЧЕСКОГО РУКОВОДСТВА  
ТРАНСПОРТОМ**



## Проблемы технического руководства транспортом.

Что есть материальная опора между промышленностью и земледелием? Это есть транспорт железнодорожных и водных путей.

(Из речи В. И. Ленина. Соч., т. VIII, стр. 183).

В качестве вступления к настоящей статье я предпослала несколько строк по вопросу, хотя и общеизвестному, элементарному, но тем не менее постоянно вызывающему необходимые напоминания о нем.

Зачастую представление о роли транспорта не только у рядового обывателя, но и у лиц, близко соприкасающихся с ним, у руководителей хозяйствующих учреждений и организаций, бывает очень поверхностным и неправильным. Даже в печати можно иногда встретить определение транспорта, как „механического извозчика“, обязанность которого только возить все то, что ему предложит клиент и от воли и возможностей последнего зависит объем работы и развитие транспорта.

Наконец, некоторые технические работники самого транспорта как специалисты-практики, так и инженеры, склонны рассматривать его исключительно с точки зрения известных им *технических дисциплин*.

„Мое дело, как техника“ — говорят они —, наблюдать, чтобы подвижной состав, путь, сооружения и устройства были в порядке, чтобы была обеспечена безопасность и своевременность движения, а до остального мне дела нет“.

Совершенно ясно, что такая точка зрения не выдерживает никакой критики и чтобы парализовать возможность образования ее в самом зародыше, надо с первого же момента появления студентов в Институте, со вступительного курса вложить в них истинное понимание роли и значения транспорта.

„Локомотив более способствовал сближению людей, чем философы, поэты и пророки с самого начала мира“ — совершенно правильно говорит в своей „Истории цивилизации“ Бокль.

В самом деле, если мы обратимся к истории возникновения и развития транспорта, так сказать „*ab ovo*“ и внимательно проследим

последовательно все стадии его развития во всем мире, начиная с древнейших караванных путей на суше, бамбуковых, горшечных и с надутыми кожаными мешками плотов на воде, через примитивные экипажи, малоустроенные шоссе и железные дороги древнего Вавилона, Египта и Рима, через долбленые челны, лодки, первоначальные парусники, до существующих сейчас типов быстроходных мощных локомотивов, электровозов, блестящих „голубых экспрессов“ и комфортабельных исполинских океанских пароходов и сопоставим все это с теми экономическими достижениями, которые параллельно и непосредственно благодаря развитию транспорта возникали, то для каждого станет совершенно бесспорной его величайшая роль, *как мощного экономического регулятора, как мощного проводника культуры и действенного средства для общения и единения народов мира.*

Существует еще сравнение транспорта с кровеносной системой живого организма, и это сравнение является совершенно правильным и удачным. Как при нарушении деятельности кровеносной системы падает пульс и нарушаются все функции организма, так и при нарушении работы транспорта наступают серьезные затруднения в промышленности и торговле. Чем лучше, быстрее и успешнее идет работа транспорта, тем легче и лучше протекает работа всей хозяйственной, всей экономической деятельности страны.

Поскольку это является абсолютно бесспорным, то и вопросу о техническом руководстве транспортом должно придаваться то перво-степенное значение, которого оно по праву заслуживает.

Теперь для примера рассмотрим какими же средствами технического руководства располагает крупнейший вид транспорта — железнодорожный, в настоящее время. Прежде всего бросается в глаза необычайная пестрота и разнообразие состава технических руководителей по квалификации, практическому стажу и теоретической подготовке при чем особенно выпукло выступает неравномерное распределение их по сети. Так, например, на дорогах центральной части Союза и в особенности в столичных районах состав полнее, однороднее и выше по квалификации, нежели на дорогах восточной части, на севере, в Сибири и Туркестане. Особенной пестротой и разнородностью отличается состав линейной технической администрации (ПЧ, ТЧ, ШЧ, ДН, МЧ).

Руководители центральных отделов НКПС и местных правлений железных дорог почти везде имеют высокую квалификацию, которая вполне удовлетворяет всем предъявляемым к ней техническим требованиям, применительно к существовавшим доселе условиям работы.

Правда, некоторые из них не совсем успевают за стремительным темпом нашей жизни и „сбившись с ног“, волочатся у нее на буксире, у некоторых еще очень сильны методы работы „по старинке“, да это и вполне понятно — десятки лет работы в специфических условиях самодержавной России наложили на них свой отпеча-

ток, от которого сравнительно легко отделяются лишь наиболее чуткие, живые, инициативные люди, могущие уловить, ощутить биение пульса современной жизни.

Сейчас же наша страна стоит на пороге новой жизни, переходит к новой фазе социалистического строительства—от восстановления к постройке,—к коренной реконструкции. Из ярко выраженной аграрной страны мы должны перестраиваться на индустриальную и так как к индустриализации будет приступлено теперь же, то перед транспортом станут новые задачи, для выполнения которых потребуются кадры, могущие успешно справляться с этими задачами.

Индустриализация будет заключаться в мощном, широком развертывании промышленности, осуществлении максимума программы электрификации и внедрении в промышленность новейших достижений техники. Конечно, в первую очередь это затронет проблемы топлива и металла, т. е. те два кита, на которых держится транспорт. Топливная проблема на транспорте до сих пор разрешалась кое-какими теплотехническими улучшениями и усовершенствованиями и кое-какими слабыми попытками поставить вопрос о новой тяге (тепловозные опыты). Совершенно естественно, что эти меры ни в какой степени пока не разрешают проблемы, и транспорту в ближайшее время предстоит вплотную подойти к новой проблеме—проблеме тяги. Не случайно стал вопрос о тепловозах, не случайно поставка вопроса об электрификации железных дорог, и если до сих пор она была в стадии лабораторных опытов, то в ближайшее время ей предстоит выступить уже в реальном осуществлении. Постройка ряда гидроэлектрических станций имеет целью отчасти служить и этому делу. Вообще же топливная проблема, помимо изменения тяговых средств, предполагает коренной пересмотр всех средств энергетики с целью сокращения до максимума расхода топлива. Переход на тепловозы уменьшит расход топлива, по крайней мере вдвое, в особенности, если принять во внимание значительное сокращение расхода воды, что повлечет за собой сокращение сети водокачек; переход на электрификацию совершенно исключает потребность подачи воды для нужд локомотива. Новый вид тяги должен резко видоизменить, произвести целую революцию в депоовском ремонтном деле, в работе главных мастерских, учасковых и главных складов топлива и материалов и потребует совершенно иной квалификации как технических руководителей, так и исполнителей. Углубление работы по сокращению расхода топлива потребует расширения использования в маневровом деле наклонных плоскостей (горок), а также менее громоздких и более экономных локомотивов типа: мотовозов, автоматрисс или тепловозов.

В полной степени назрел и требует разрешения вопрос о стандартизации и нормализации запасных частей подвижного состава. Увеличение скоростей и густота движения в ближайшие же годы выдвинет вопрос о сверхмагистральных и теперь же, немедленно, выдвинет

гает вопрос о переустройстве средств сигнализации, централизации и блокировки.

На очереди сегодняшнего дня стоит вопрос о механизации погрузочно-разгрузочных работ, которым стали интересоваться лишь в сравнительно недавнее время (в частности над этим вопросом последнее время много работает проф. В. Е. Лихницкий) и параллельно с ним должен быть поставлен новый вопрос о стандартизации товарной упаковки. В связи с этими двумя вопросами проектирование станций, пакгаузов, погрузочных платформ, элеваторов и проч. устройств должны предусматривать полное механизирование всех багажно-грузовых операций.

Проблема металла упирается в производство более легких и устойчивых металлических искусственных сооружений, пролетных строений, мостов, виадуков. Может быть, идя по пути сокращения расхода металла, придется вернуться к арочным каменным пролетным сооружениям и искусственным монолитам.

Размеры статьи не позволяют мне остановиться на вопросах транспортной экономики, но об этом в следующий раз. Конечно, здесь только схематично, лишь в самых общих чертах и очень небольшим числом примеров иллюстрированы те крупнейшие задачи, которые в ближайшее время становятся перед транспортом во весь свой рост. Для осуществления их потребуются *новые* подготовленные кадры технических руководителей. В связи с этим перед транспортными ВУЗ'ами и в частности, перед нашим Институтом ставится большая и ответственная задача, разрабатывать и проводить в жизнь новые планы и программы подготовки руководителей транспорта, знание которых соответствовало бы тем задачам, которые выдвигает сейчас перед транспортом новая фаза строительства социализма в СССР.

*Павел Безруких.*

Проф. Е. Михальцев

КАПИТАЛ  
В  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ  
ПРЕДПРИЯТИИ



# Капитал в железнодорожном предприятии.

## ГЛАВА I.

### Обстоятельства, определяющие величину денежного капитала.

Восстановление основного капитала является, как это было признано весной прошлого года и ЦИБ'ом СССР, одной из важнейших современных задач в железнодорожном деле. Мы подходим к довоенным размерам перевозок, и перед нами неизбежно встает вопрос о приведении в порядок и расширении оборудования железных дорог Союза. Проблема эта, чисто практического характера, делает тем не менее своевременным и теоретическое изучение особенностей жел.-дор. капитала: его основных свойств, условий формирования и бытия и способов поддержания в необходимом для дорог размере.

Железная дорога для возможности ее работы должна быть с технической стороны надлежащим образом выстроена и оборудована. Сумма материальных благ, заложенных в железнодорожное предприятие при его создании и в период последующей эксплуатации, и может быть объединена в понятие основного капитала железной дороги.

Капитал железной дороги можно рассматривать с одной стороны, как совокупность денежных средств, затраченных на создание дороги, — что можно назвать денежным или пассивным капиталом, — а с другой стороны — как стоимость массы имущества, находящегося на железной дороге и предназначенного для длительного пользования при эксплуатации, что объединяется в понятие производительного или активного капитала.

### Свойства железнодорожного капитала.

Для осуществления жел.-дор. предприятия необходимы денежные средства весьма значительных размеров. Годовая эксплуатационная стоимость продукции железной дороги, т.е. сумма эксплуатационных расходов на перевозку, составляет, примерно, не более  $\frac{1}{10}$  —  $\frac{1}{8}$  от основного капитала, между тем как в промышленности величина эта легко

доходит до удвоенного основного капитала и выше. Например, для 1924/25 года эксплуатационные расходы железных дорог были 0,8 млрд. черв. руб., а величина основного капитала—10 млрд. черв. руб., т. е. коэффициент производительности капитала.

$$\alpha = \frac{0,8}{10} = 0,08$$

Для того же года по 66 трестам ВСНХ общесоюзного значения

$$\alpha = \frac{2,1}{1,2} = 1,75,$$

где:

2,1—стоимость продукции трестов (по себестоимости) в млрд. черв. руб.,  
1,2—основной капитал трестов в млрд. черв. рублей. Визкие к этим мы имеем соотношения и для довоенного времени.

Таким образом, коэффициент производительности капитала в жел.-дор. предприятии оказывается по крайней мере в 10 раз меньше, чем в промышленности.<sup>1</sup> Это обстоятельство естественно увеличивает размеры жел.-дор. капиталов по сравнению с другими отраслями производства.

Общий размер жел.-дор. капитала, заложенного в русские железные дороги за все время их существования, составлял к началу 1914 года 7,6 млрд. рублей, при чем на км приходилось 110 тысяч рублей. По отдельным дорогам величина капитала колебалась весьма широко— в пределах от 42 до 277 тысяч рублей (см. табл. I). При этом, однако, необходимо учесть, что на большинстве дорог частично имеются двух-колейные участки; поэтому для ясности следует сопоставлять стоимость не километра эксплуатационной длины, а километра одиночной колеи. Здесь уже пределы колебания оказываются меньшими—от 42 тыс. руб. до 179 тыс. рублей.

Если вычислить средний взвешенный год открытия движения на каждой дороге,—ибо в административную единицу входят участки, построенные в разное время,—то обнаружится, что в общем более молодые дороги оказываются и более дешевыми.<sup>2</sup> Таким образом, километровая стоимость дороги увеличивается с ее возрастом. Причиной этого является рост грузооборота в связи с развитием района, что вызывает необходимость усиления предприятия, расширения станций, создания дополнительных товарных устройств и т. п. При этом самое

<sup>1</sup> В отдельных отраслях промышленности величина измерителя, который я называю коэффициентом производительности капитала, подвергается довольно значительным колебаниям. Учет этой величины в промышленности представляется, особенно в довоенный период, не всегда легким. Ныне статистика ВСНХ, объединяющая предприятия общесоюзного значения, облегчает анализ данных о капиталах и продукции промышленности, жел.-дор. же статистика и ныне и по довоенному периоду заключает в себе все необходимые данные для нахождения указанного коэффициента.

<sup>2</sup> Северо-Донецкая жел.-дор. является исключением, так как ее оборудование было особенно сильным.

ТАБЛИЦА I.

Стоимость русских железных дорог к 1914 г.

|                         | Казенные дороги                          | Стоимость километра                          |                 |             | Частные дороги                 | Стоимость километра                          |                 |             |
|-------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|-------------|--------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|-------------|
|                         |                                          | 1 год открития движения (средний взвешенный) |                 |             |                                | 1 год открития движения (средний взвешенный) |                 |             |
|                         |                                          | Экспл. длины                                 | Одн.ночн. колес | Тыс. рублей |                                | Экспл. длины                                 | Одн.ночн. колес | Тыс. рублей |
| Стоимость выше среднего | Николаевск. (ныне Октябрьская) . . . . . | 1878                                         | 277             | 179         | Северо-Донецкая                | 1911                                         | 147             | 114         |
|                         | Моск.-Курская . . . . .                  | 1868                                         | 243             | 135         | Владикавказская . . . . .      | 1891                                         | 125             | 98          |
|                         | Северо-Западные . . . . .                | 1873                                         | 147             | 98          | Юго-Восточные . . . . .        | 1887                                         | 100             | 85          |
|                         | Риго-Орловская . . . . .                 | 1875                                         | 147             | 97          | Рязанско - Уральская . . . . . | 1893                                         | 94              | 82          |
| Стоимость ниже среднего | Либаво-Роменская . . . . .               | 1879                                         | 102             | 88          | Ейская . . . . .               | 1911                                         | 62              | 62          |
|                         | Периская . . . . .                       | 1894                                         | 83              | 83          | Троицкая . . . . .             | 1912                                         | 59              | 59          |
|                         | Северные . . . . .                       | 1895                                         | 83              | 80          | Ферганская . . . . .           | 1913                                         | 50              | 50          |
|                         | Полесские . . . . .                      | 1892                                         | 71              | 46          | Волго-Бугульм. . . . .         | 1909                                         | 48              | 48          |
|                         | Средне-Азиатская . . . . .               | 1892                                         | 57              | 57          | Богословская . . . . .         | 1906                                         | 46              | 46          |
|                         | Омская . . . . .                         | 1913                                         | 52              | 52          | Белгород-Сумская . . . . .     | 1901                                         | 42              | 42          |
|                         | Средняя стоимость . . . . .              | —                                            | 121             | 96          | Средняя стоимость . . . . .    | —                                            | 94              | 82          |

увеличение капитала носит принудительно-неизбежный характер: рост производительных сил страны вынуждает железную дорогу увеличивать свое оборудование, если она не хочет затормозить развитие района. По данным С. Штольцама<sup>1</sup> (к 1904 году) стоимость наших дорог составляла: для дорог с возрастом до 20 лет—87.000 руб. на км, для дорог с возрастом от 20 до 30 лет—105 тыс. руб. и свыше 30 лет 159 тыс. руб. на км. Таким образом, размер капиталов, заложенных в жел.-дор. предприятия, принудительно растет с возрастом дорог подобно тому, как это и вообще имеет место во всех общественно-необходимых предприятиях (вода, газ, освещение, трамвай), обслуживающих интересы широких кругов населения.

Неблагоприятное по сравнению с промышленностью положение капитала в жел.-дор. предприятиях, помимо его больших размеров, связывается с его прикреплённостью к предприятию. Заложенный в железную дорогу капитал в значительной своей части не может быть изъят из него. Занятая под железную дорогу полоса земли, земляное полотно, путевые здания и сооружения имеют после постройки дороги ценность лишь в связи с работой предприятия. Ликвидировать свое имущество по частям дорога не может; лишь некоторые виды

<sup>1</sup> „Развитие сети железных дорог Европейской России“ СПб. 1908.

оборудования и подвижной состав могут быть перемещены в другое место. Эта связанность жел.-дор. капитала с предприятием вынуждает к особенно тщательному выяснению размеров денежных средств, необходимых для постройки железной дороги.

Для текущей работы предприятия величина заложенного в него капитала является тем более важной, что она определяет собою и величину будущих эксплуатационных расходов: чем больше будет затрочено первоначально на оборудование дороги, тем меньшими окажутся текущие издержки на перевозку, и наоборот. Таким образом, капитал и эксплуатационные расходы связаны соотношением обратной зависимости. Соответственно объему работы железной дороги должен быть выбран и размер основного капитала. Если дорога со сравнительно слабым движением будет богато оборудована, то расходы по большому основному капиталу будут чрезмерно давить на годовую перевозку и, раскладываясь на малое число единиц, будут удорожать стоимость последних. Если, с другой стороны, оборудование окажется недостаточным по сравнению с размерами перевозок, то это вызовет и затруднения в работе и удорожание ее вследствие неизбежно нерациональных приемов эксплуатации (например, систематической двойной тяги, напрасных передвижений вагонов при маневрах на тесных станциях и т. п.).

Между тем, обычно оказывается, что степень загрузки капитала в жел.-дор. предприятии далеко не всегда достаточна. Если построенная дорога пропускает 4 пары поездов, то при весьма незначительных затратах оборудование ее может быть сделано отвечающим удвоенному числу поездов. Таким образом, капитал при движении 4 пар оказывается плохо использованным, и дороге было бы выгоднее, если бы движение выросло до такого предела, когда наличное оборудование использовано целиком. Однако, при слабом движении капитал всегда недостаточно нагружен, и это вполне естественно, потому что для пропуска хотя бы одного поезда на дороге должно быть целиком построено полотно, закончены мосты, устроены станции, сигналы и т. п. Эта необходимость — даже при самом слабом движении — отстроить всю дорогу полностью делает то, что в течение всего периода, пока загрузка дороги не достигнет предела, отвечающего наличному ее оборудованию, расходы по оборудованию (оплата его и возобновление) не соответствуют работе дороги и ложатся чрезмерной долей на единицу перевозки.

Требования, которые с точки зрения жел.-дор. экономики могут быть предъявлены к основному капиталу, определяются тем, что общая его величина, заложенная во всю жел.-дор. сеть, должна соответствовать потребности страны в жел.-дор. транспорте, а размеры его по отдельным линиям должны быть согласованы с работой, ожидаемой на этой линии. Соответствие капитала и оборудования в целом и в частях с размерами перевозок должно быть проведено на основе увязки с принципом наименьшей стоимости выполненных перевозок.

Размеры капитала влияют на стоимость работы дороги двояким образом: с одной стороны, пассивный денежный капитал вызывает расходы на оплату его, а с другой—активный капитал железной дороги—ее имущество—изнашиваясь влечет за собою расходы на его возобновление. Что касается влияния на эксплуатационные расходы, то, как уже сказано, больший размер активного капитала позволяет применять более совершенные приемы эксплуатации и тем удешевлять стоимость перевозки (например, больший вес рельсов делает возможным введение больших скоростей и мощных паровозов, а последние позволяют вводить более тяжелые поезда и т. п.). Однако, нельзя упускать из вида, что большая величина активного капитала, иначе говоря, большая масса имущества, влечет за собою и большие расходы на текущий и капитальный ремонт дороги.

Обратимся сначала к пассивному капиталу,—тем денежным средствам, которые приходится затрачивать на осуществление жел.-дор. предприятия.

Обстоятельства, которые определяют величину денежного капитала железной дороги, могут быть сведены к следующим трем группам: 1) технические задания на постройку дороги, 2) затруднения в зависимости от топографии местности и 3) условия реализации капитала. Первые две группы определяют строительную стоимость дороги, а последняя всецело связана с порядком финансирования предприятия при его организации.

### Значение технических заданий на постройку дороги и условий местности.

Технические условия на постройку должны быть согласованы прежде всего с типом дороги и с предстоящей работой. В нашей практике принято деление дорог по их типу на две категории: дороги общего значения и дороги местного значения. В состав последней группы входят подъездные пути. В германской практике дороги делятся на три категории: главные линии, второстепенные линии и местные дороги.<sup>1</sup> Это деление основывается на роли дороги в районе; если же подходить к вопросу с точки зрения технического оборудования, то группировка дорог должна быть более детальна. В настоящее время в СССР установлены для ширококолейных дорог 4 основных категории: магистрали усиленного типа, нормального типа, облегченного типа и подъездные пути. В основу деления положена выполняемая на дороге работа в тонно-километрах в грузовом направлении.

В общем случае, чем более велико коммерческое задание для дороги—число перевозимых грузов и пассажиров—тем строже могут и должны быть технические условия. Среди последних на первом

<sup>1</sup> См., напр., Э. Закс.—„Экономика железнодорожного транспорта“. В. II, стр. 16.

месте должен быть поставлен предельный уклон, применяемый на дороге; он определяет условия тяги и вес поездов, а расходы эксплуатации в общем случае тем меньше, чем тяжелее поезда. Однако, уменьшение уклона неизбежно отражается на количестве работ: земляных — в полотне дороги и каменных — в искусственных сооружениях, а потому и размеры капитала при пологих уклонах оказываются более значительными. Серьезное значение наравне с уклонами имеют типы подвижного состава — и паровозов и вагонов (товарных). Тип паровоза определяет при данном уклоне вес поезда. Что касается типа вагона, то от него зависит процент бесполезного мертвого веса, передвигаемого вместе с грузом, и длина поезда, требующая большей или меньшей длины разъездных путей; однако, более тяжелые паровозы выгодны только при значительном движении. Дальше среди технических условий следуют степень кривизны линии и величина радиусов закруглений; уменьшением последних можно весьма значительно снизить количество земляных работ на дороге, при чем на расходах эксплуатации более крутые радиусы отражаются мало. Существенное значение имеет массивность верхнего строения пути — толщина балласта, число шпал, и вес рельсов; этими элементами определяется скорость и вес поездов. Типы применяемых искусственных сооружений должны отвечать обращающемуся на дороге подвижному составу; здесь особенно важна мощность пролетных строений и допускаемое давление на них от подвижного состава. Путевое развитие станций позволяет в большей или меньшей степени рационализировать маневровую работу и избежать напрасных лишних движений; впрочем успешность работы станций зависит не только от количества путей, но и от разумности их расположения на станции. Наконец, существенно важным является оборудование дороги инвентарем, ремонтными средствами и механическими приспособлениями, как для технических надобностей, так и для коммерческой работы дороги. Надо однако, иметь в виду, что затраты на механизацию и более совершенное оборудование оказываются выгодными лишь при таком объеме работы дороги, когда все дорожные приспособления будут использованы в течение достаточной части суток; вообще же условия выгоды механизации зависят от соотношения стоимости оборудования и высоты заработной платы. Что касается гражданских сооружений, то их обилие и обширность каждого из них зависят как от размеров работы дороги, так и от характера местности, по которой линия проходит. Отсутствие населенных пунктов заставляет обеспечить квартиры для всех служащих в жел.-дор. жилых домах; в заселенных районах иногда оказывается возможным ограничить их число. В отношении гражданских зданий вообще возможно постепенное увеличение их количества с ростом работы дороги, и первоначальные затраты здесь могут быть ограничены.

Строгость технических условий должна быть таким образом согласована с предстоящей работой дороги. Как уже было сказано, действуя-

иная в СССР классификация железнодорожных линий устанавливает 4 основных разряда линий именно в зависимости от величины грузооборота. Таким образом, в настоящее время при выборе типа оборудования дороги руководящее значение приобрели, совершенно справедливо, размеры движения на дороге. В прошлые годы при постройке русских железных дорог зачастую бывало, что на линиях, будущая густота движения на которых не вызвала сомнений, применялись крутые уклоны и недостаточно солидное оборудование. Поэтому при усилившемся движении неизбежно возникал вопрос об их усилении. В таком положении в частности в настоящее время оказываются участки Москва—Курск, Москва—Павелец, Москва—Брянск и др.

Надо впрочем иметь в виду, что упрощенные условия постройки удешевляли дорогу и делали ее более осуществимой, необходимость же связать технические условия на сооружение дороги с ее будущей работой у нас до начала нынешнего столетия была недостаточно осознана. Между тем увязка характера оборудования, и тем самым размеров капитала, с предстоящей интенсивностью движения имеет первостепенное значение. С начала нынешнего столетия требования в этом отношении сделались более отчетливыми, и расходы на постройку дорог с густым движением возрасли; например, в 1910 г. на постройку Северо-Донецкой жел. дор., рассчитанную с самого начала на крупные угольные перевозки, было затрачено на километр (с введением к одиночной колее) 114 тыс. руб.; с другой стороны основной капитал Волго-Бугульминской жел. дор., имеющей сравнительно слабое движение, составлял лишь 48 тыс. руб. на километр. Анализ километровой стоимости наших старых дорог с точки зрения влияния на нее ожидаемых на данной дороге размеров движения оказывается затруднительным, так как влияние этого обстоятельства трудно отделить от влияния условий местности. Тем не менее можно сказать, что довольно невысокие километровые стоимости наших старых дорог зависят главным образом от того, что технические условия были достаточно облегченными. В связи с этим по мере роста грузооборота приходилось увеличивать оборудование дорог, и это вызывало тот рост основного капитала с возрастом дорог, о котором говорилось ранее.

Что касается стоимости узкоколейных подъездных путей, то упрощение технических условий сказывается на их километровой стоимости весьма резко. По отчетным данным стоимость их на километр в среднем можно считать 10—15 тыс. руб. без рельсов и подвижного состава и 20—25 тыс. руб. вместе с последними.

Природные условия местности, по которой проходит железная дорога, отзываются на стоимости дороги, а следовательно и на величине капитала, в разнообразных отношениях. Прежде всего при заданном предельном уклоне рельефом местности определяется количество земляных работ на километр. При равнинной местности последнее составляет 15.000—20.000—25.000 куб. м на километр, а в холми-

стой и гористой повышается в  $1\frac{1}{2}$  и более раз.<sup>1</sup> Кроме того, сама стоимость земляных работ изменяется в зависимости от качества грунта. В связи с земляными работами находятся и работы по устройству искусственных сооружений (мостов и труб): при больших насыпях и пересеченной местности количество мостов, их высота и пролеты увеличиваются. Устройство станций в холмистой местности также затрудняется, это отражается на их стоимости. Существенное значение для километровой стоимости имеют и условия получения воды для питания паровозов; отсутствие источников водоснабжения заставляет удлинять водонапорные линии или применять более сложные способы получения воды. Таким образом, условия местности или облегчают или затрудняют постройку дороги. Зачастую природная обстановка отражается не на стоимости дороги, а на ее технических характеристиках; так дорога, приспособляясь к местности, видоизменяет технические условия: в равнинной местности применяются более строгие условия, и тем происходит выравнивание стоимостей дорог в разных местностях.

#### Влияние на величину капитала условий финансирования.

Порядок осуществления жел.-дор. предприятия с финансовой стороны является третьим по счету фактором, от которого зависит величина капитала железной дороги.

В прошлом русские железные дороги строились или казной или частными организациями—акционерными обществами. При постройке железной дороги непосредственным распоряжением правительства денежным источником для строительства могут быть или бюджетные средства или займы. Рассчитывать в широких размерах на первый источник не всегда возможно, однако, в довоенное время казна часто прибегала в этому средству для постройки железных дорог. По разделу так называемых чрезвычайных расходов у нас обычно назначались довольно значительные ассигнования на сооружение железных дорог; так, за 1910 г. было назначено 62 милл. руб., за 1911 г.—95 милл. руб., за 1912 г.—110 милл. руб., и за 1913 г. 110 милл. руб.<sup>2</sup>

Другим источником для казенного строительства были государственные займы. Из общей суммы задолжности России, выразившейся к 1913 г. в 8,9 млрд. руб., на долю железных дорог приходилось 3,1 млрд. руб.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> На Урале: линия Пермь—Екатеринбург—46.800 куб. м на километр, Бердяш-Лысьва—33.100 куб. м; на Кавказе: Черноморская жел. дор.—38.900 куб. м, Перевальная (проект) 46.500 куб. м на километр.

<sup>2</sup> В период 1904—1909 г.г. займов было заключено на 2.194 милл. руб., а на войну израсходовано 2.550 милл. руб. Следовательно, на железные дороги затрачивались в этот период только бюджетные средства. Всего за 1904—1913 г.г. по смете чрезвычайных расходов М. П. С. на постройку железных дорог было ассигновано 753 милл. руб.

<sup>3</sup> „Статистический ежегодник Совета Соединенных Промышленности и Торговли“ за 1914 г. стр. 418.

При постройке железных дорог частными обществами необходимый капитал получался путем выпуска займа. В условиях нашей довоенной обстановки почти все частные жел.-дор. займы были выпущены акционерными обществами при непосредственной помощи правительства, которое при выпуске брало на себя обязательства исправной уплаты  $\frac{1}{2}\%$  по займу. Большинство наших займов выпускалось за границей, и заграничные банкиры считали гарантию займа правительством необходимым условием его реализации. Благодаря этому наши частные займы по существу были в значительной степени государственными, с тем лишь отличием от выпущенных от имени государства, что они не входили в состав государственного долга, и таким образом не увеличивали официальной задолженности государства. Вторым отличием, важным в глазах кредиторов России, было то, что частные займы были займами целевыми, подлежащими расходованию по определенному назначению—на известную железную дорогу; поэтому кредиторы могли быть уверенными, что выданные деньги будут израсходованы на производительные надобности. Общая сумма реализуемого частной железной дорогой займа делилась обычно на две части—облигации и акции. Первые являлись твердопроцентными обязательствами дороги—ее долгом,—а вторые приносили держателям их дивиденд в зависимости от успешности работы дороги. Гарантия оплаты процентов в большинстве случаев, особенно в последнее перед войной время, давалась правительством только по облигационному капиталу дорог; однако он составлял обычно  $\frac{1}{2}$  от всего капитала и потому большая доля ответственности по предприятию оказывалась перенесенной на плечи государства. Степень участия государства в жел.-дор. строительстве может быть охарактеризована тем, что из всех затрат к 1914 г. на железные дороги в 7,6 млрд. руб. было получено с помощью казны—в той или иной форме,—около 7 млрд. руб. т.е. 92%.

Условия выпуска займа определяются его выпускной ценой, выплачиваемым по займу процентом и сроком погашения. Обычно выпускная цена и по государственным и по частным займам оказывается ниже нарицательной и в соответствии с ней назначается величина процента. Если отнести величину выплачиваемых процентов к выпускной цене и учесть погашение займа по нарицательной цене, то полученный действительный процент интереса будет характеризовать выгодность займа.<sup>1</sup> По исчислениям проф. Мигулина средняя выручка по нашим государственным займам составила 91,9% от нарицательной их цены; что же касается действительного процента интереса, то за вторую половину прошлого столетия он в общем непрерывно понижался, будучи различным для займов общегосударственных и частных. За период управления различными министрами Мини-

<sup>1</sup> Напр. 4% шестой жел.-дор. консолидированный заем, выпущенный в 1880 г. на сумму 225 милл. руб. по курсу 75 на 81 год имел действительный процент интереса 5,492.

стерством Финансов по данным проф. Мигулина действительный процент интереса составлял:

| П Е Р И О Д                   | % по займам        |                      |                   |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
|                               | Частным<br>гарант. | Консол.<br>жел.-дор. | Обще-<br>государ. |
| Мин. Рейтерна (62—78) . . . . | 6,97               | 5,77                 | 5,48              |
| „ Бунге (81—86) . . . . .     | 5,63               | 5,81                 | 4,81              |
| „ Вишнеградского (87—92) .    | 4,83               | 1,61                 | 4,22              |
| „ Витте (93—902) . . . . .    | 4,25               | —                    | 3,98              |

Таким образом, при выпуске займов оказывается неизбежной некоторая потеря,— в прошлом, как сказано, около 10% от номинальной величины капитала,—которая и увеличивает сумму жел.-дор. капитала, необходимого для постройки дороги. При постройке дорог казною за счет бюджетных средств такой потери не бывает.

В современных условиях СССР после национализации железных дорог основным способом постройки дорог является постройка казною. После укрепления нашего финансового положения, если нам удастся выделять из бюджета суммы на постройку железных дорог, это будет одним из способов осуществления социалистического накопления. Постройка дорог за счет займов также должна у нас иметь место, поскольку бюджетные средства окажутся для программы строительства недостаточными.<sup>1</sup> Третьим источником жел.-дор. строительства могут явиться капиталы концессионеров, если правительство найдет возможным привлечь их к постройке железных дорог.

Таким образом, в зависимости от технических заданий, топографии района и условий реализации определяется величина капитала, потребного для осуществления железной дороги. По мере развития предприятия возникает необходимость в его расширении и в связи с этим—задача изыскать дополнительные средства. Рост капитала предприятия обычно идет за счет вложения в него новых средств—соответственно из бюджета или от реализации займов. Мелкие работы по улучшению дороги и по расширению ее отдельных устройств в том случае, если в течение года они не превышают 1—2% от эксплуатационных расходов, заносятся в эксплуатационную смету (по IX отделу). Независимо от этого на соответствующую сумму должна увеличиваться и величина основного капитала предприятия.

<sup>1</sup> В 1925 г. достройка начатых ранее дорог производилась за счет выпущенного НКФ займа хозяйственного восстановления.

Если предприятие построено на заемный капитал, то в условиях капиталистического хозяйства, обычно, одним из условий получения займа было требование погашения займа через определенный срок, большею частью через 81 г. Это требование заставляло предвидеть ежегодную сумму платежей для погашения капитала. Так как погашение производилось по сложным процентам и в срок довольно продолжительный, то погашаемая ежегодно доля капитала была обычно невелика—0,25—0,30%. Однако, в современной обстановке ведения хозяйства в СССР самый вопрос о необходимости погашения капитала, независимо от величины погашения, является далеко не бесспорным. При условии правильного проведения реновационных отчислений, имущество, как об этом будет сказано далее, будет постоянно поддерживаться в исправном состоянии. Поэтому в момент условленного погашения займа окажется, что предприятие и вполне освободилось от лежащего на нем капитального долга и находится в состоянии бесспорной годности к дальнейшей работе. Такое положение будет достигнуто путем двойного обложения современников за пользование железной дорогой—и на восстановление имущества и на погашение пассивного капитала. Естественно, что такой порядок должен повысить стоимость транспортных услуг для современников ради выгод последующих поколений. Вопрос о проведении погашения тех капиталов, которые будут затрачиваться на будущие жел. дороги СССР, является вопросом не жел.-дор. экономики, а финансовой политики, но поскольку то или иное решение его может отразиться на стоимости перевозки, он не безразличен и для нас. Если в будущем заключаемые займы придется погашать, то при системе государственных жел. дорог и при систематической и правильно производимой реновации имущества—погашение жел.-дор. капиталов не должно относиться на стоимость перевозки. Необходимые для этого погашения денежные средства правильно было бы проводить за счет государственного бюджета безотносительно к работе жел. дорог, имея в виду, что это есть осуществление идеи накопления, в результате которого в будущем в распоряжение государства перейдет ценное вполне исправное имущество.

### Оплата железнодорожного капитала.

В ином положении по сравнению с погашением денежного капитала оказывается с точки зрения жел.-дор. экономики вопрос об оплате затраченного на жел. дорогу капитала. В довоенное время оплата жел.-дор. займов по условленному проценту производилась из доходов эксплуатации, как неизбежная и заранее предвиденная операция. Ныне для сети наших жел. дорог, после национализации, вопрос о необходимости оплаты жел.-дор. капитала отпал; однако взамен этого на НРПС возлагается обязательство выделять из своих доходов не только суммы на содержание бездоходных видов транс-

порта (водопути, местные пути сообщения), но и вносить некоторую сумму на общегосударственные нужды государства.<sup>1</sup> Не входя в обсуждение, должен ли быть установлен платеж в пользу государства за предоставленный транспорту капитал,—это вопрос финансовой политики,—необходимо подчеркнуть, что без учета оплаты капитала правильное исчисление стоимости жел.-дор. перевозки оказывается совершенно невозможным. Та взаимная противоположность эксплуатационных расходов и капитала, которая позволяет уменьшать одни за счет увеличения второго, может быть отображена в стоимости перевозки только в том случае, если будут учитываться расходы по оплате капитала. Что касается величины процента, то ввиду неопределенности в современной обстановке в СССР величины учетного процента, необходимо остановиться на какой-нибудь условной величине. Союзный Госплан принимает для калькуляционных расчетов по перспективным планам 6%; этот процент можно применять и для жел.-дор. расчетов.

## ГЛАВА II.

### Железнодорожное имущество, как активный капитал дороги.

#### Состав имущества жел. дороги.

Денежные средства, назначенные для осуществления жел. дороги, превращаются в процессе постройки в жел.-дор. сооружения и имущество. Если из всей суммы нарицательного капитала—при постройке за счет займа—исключить потери по реализации, то величина реализованного капитала и определит суммы, назначенную на постройку жел. дороги. Однако, в состав этой суммы войдут не только непосредственные издержки на имущество, но и разнообразные накладные расходы, неизбежные в процессе постройки. Кроме заработной платы (во всех видах) и материалов (включая перевозку их к месту работ) приходится оплатить убытки, понесенные пользователями земельных участков вследствие проведения дороги, затем расходы на изыскания и составление проекта, а равно и расходы на содержание администрации по работам. При постройке за счет займа приходится предвидеть оплату процентов на капитал за время постройки, а при концессионном способе осуществления предприятия добавляются еще расходы по налогам в пользу государства. Все перечисленные группы расходов, если принять их в нормальных размерах, являются неотъемлемой частью чисто строительных затрат и хотя они по окончании

<sup>1</sup> Так, напр., было по первоначальному проекту бюджета на 1925/26 г. Правла, в связи с денежными затруднениями, испытываемыми жел. дорогами, вторая сумма не была передана НКФ, но по существу попытка финансового ведомства обложить жел. дороги достаточно характерна.

постройки не выражаются вещественно в виде каких-то элементов имущества, — их необходимо распределять между всеми составными частями дороги, соответственно увеличивая стоимость каждого из сооружений или предметов инвентаря.

Таким образом, по окончании постройки предприятие будет располагать имуществом, стоимость которого выражается суммой израсходованных на его создание денежных средств. В процессе работы предприятия имущество количественно увеличивается, а пассивный капитал дороги соответственно растет, и этим характеризуется возрастание стоимости предприятия. С другой стороны имущество подвергается естественному износу и, несмотря на текущий и капитальный ремонт, стареет и обезценивается. Поэтому, по истечении нескольких лет работы дороги стоимость наличного имущества перестает соответствовать величине пассивного капитала, затраченного на сооружение дороги и на пополнение ее инвентарем в последующие годы. Если задаться целью, чтобы балансовая стоимость имущества отвечала действительному его состоянию, необходимо ежегодно учитывать величину износа наличного оборудования.

Что касается самого состава жел.-дор. имущества, то его прежде всего можно разделить на две группы: основное имущество и материальные запасы. Первое отвечает понятию основного капитала, а второе — оборотного. Под основным имуществом надо разуметь сооружения, подвижной состав и инвентарь дороги, находящиеся в работе и предназначенные для длительного пользования; в противоположность этому к материальным запасам относится с одной стороны имущество дороги, неоднократно потребляемое в процессе выполнения перевозочной работы (топливо, смазка и т. п.), а с другой запасы оборудования, предназначенные для замены могущего испортиться основного имущества (некоторые машины, станки, мелкий инструмент, инвентарь помещений и т. п.). Запасы оборудования, входящие в оборотный капитал дороги отличаются от совершенно однородных с ними предметов основного имущества тем, что они не находятся в работе, являясь вторым и даже третьим запасным комплектом.

Все основное имущество дороги состоит из трех главных групп — сооружений, подвижного состава и инвентаря. Однако, для решения различных вопросов, касающихся жел.-дор. хозяйства, необходимо иметь более детальную группировку составных частей имущества. В довоенное время подробной номенклатурной описи жел.-дор. имущества мы не имели, и сведения о стоимости отдельных групп его можно было почерпнуть только из строительных отчетов, но и то только по отношению к имуществу, созданному в период постройки. В настоящее время НКПС выработана номенклатура жел.-дор. имущества, которая должна охватить все виды его, встречающиеся на жел. дорогах. Каждая группа охватывает имущество, характеризуемое одинаковым сроком службы, однородное по своему назначению и по

возможности принадлежащее одному распорядительному Отделу (бывш. Службе) дороги.<sup>1</sup>

Однако составленная НКПС номенклатура является лишь формой, которая пока не заполнена. Сведений о стоимости отдельных групп ни за прошлое ни за нынешнее время мы не имеем. Работа по установлению стоимости имущества жел. дорог представляется и теоретически и практически весьма сложной.

### Определение стоимости железнодорожного предприятия.

В качестве первого приближения стоимость имущества жел. дороги, казалось бы, можно принять равной величине денежного основного капитала дороги, уменьшив последний на сумму расходов, связанных с реализацией. Однако, если дорога выстроена за несколько десятилетий до настоящего времени и особенно, если в составе ее имущества произошли перемены, а кроме того имущество износилось, — величина основного капитала не будет выражать стоимость имущественной массы дороги. Для того, чтобы правильно подойти к вопросу об оценке имущества дороги, необходимо прежде всего отдать себе отчет о тех целях, ради которых производится оценка.

Надо различать задачу оценки жел. дороги, как предприятия, от задачи выяснения стоимости массы имущества жел. дороги. Оценка стоимости дороги, как предприятия — вопрос зачастую возникающий в странах с частно-капиталистической системой жел.-дор. хозяйства. В случаях слияния двух дорог, в случае приобретения одним жел.-дор. обществом линии, принадлежащей другому, в случае несостоятельности жел.-дор. общества, наконец в случае выкупа жел. дороги в казну, — возникает вопрос о стоимости жел. дороги в целом со всеми ее преимуществами и правами, а равно и обязательствами. В этом случае — при оценке дороги, как предприятия — могут быть применены следующие способы.

Стоимость дороги может быть принята равной величине нарицательного основного капитала, числящегося по балансу дороги. Этот прием иногда применяется в С.-А.С.Ш. при слиянии жел.-дор. обществ, при чем поправкой к нему является снижение величины основного капитала на всю сумму его предварительного „разводнения“: из величины капитала исключается вся масса обязательств, которые были ранее номинально выпущены, но не покрыты денежными взносами.<sup>2</sup> Подобный способ оценки, с поправкой за счет разводнения капитала или без нее, по существу выражает только сумму денежных средств, вложенных в предприятие за время его существования.

<sup>1</sup> Номенклатура имущества жел. дорог помещена в „Трудах Экономического Бюро НКПС“, вып. 1, стр. 58.

<sup>2</sup> Уэбб, Экономика железных дорог. Пер. Л. Н. Бернацкого М. 1921, стр. 26.

Если возникает вопрос о ценности предприятия, напр., для покупателя, то сумма вложенных средств не представляет особого интереса. Здесь можно принять другой способ оценки предприятия—по доходу. Капитализируя чистый доход последних лет из того процента, который является обычным в данное время в данной стране, мы получаем величину капитала, эквивалентную стоимости жел.-дор. предприятия по доходу. В таком, напр., порядке в дореволюционное время определялась, согласно уставам дорог, выкупная цена русских жел. дорог при переходе их путем выкупа в казну. Обычно из последних 7 лет, предшествующих выкупу, брались 5 наиболее доходных лет и полученный средний годовой доход капитализировался из 5%.

Третий способ оценки жел.-дор. предприятия—введенный в практику также в С.-А. С. Ш.—основан на определении стоимости наличного имущества дороги в изношенном состоянии и одновременно с тем оценки „невещественных“ преимуществ дороги, которые могут создать или увеличить прибыль предприятия. Таким, напр., способом были оценены дороги в штатах Мичиган и Висконсин С.-А. С. Ш. Наличное имущество оценивается путем его подробной описи с учетом износа по каждой группе сооружений. Что касается невещественных преимуществ, то американские теоретики разумеют под ним в частности—возможность дороги извлекать доход от транзитных перевозок, которые неизбежно найдут по данной дороге, возможность получить выгоды от развития промышленности в районе дороги, возможность повышения прибыли от увеличения густоты движения и т. п. Способом определения невещественных преимуществ является капитализация чистой *прибыли* (не дохода) за покрытием всех обязательных платежей, связанных с железной дорогой. По существу надо сказать, что этот способ оценки является несколько искусственным, так как, с одной стороны, понятие суммы капитализованной чистой прибыли и стоимости изношенного имущества лишено реального содержания, а с другой—такая оценка дает чисто условную калькуляционную стоимость предприятия; однако, этот прием заслуживает внимания, как комбинация учета ценности имущества и прибыльности дороги.

Наконец, возможен еще один—четвертый способ оценки предприятия, который сводится к определению стоимости воспроизведения всего наличного имущества и инвентаря дороги к моменту производства оценки. Таким образом, здесь стоимость имущества принимается отвечающей стоимости предприятия. Об этом способе дальше будет сказано подробно в связи с задачей по оценке самого имущества дороги.

Все четыре рассмотренных способа лишь с известной условностью отражают стоимость жел.-дор. предприятия, и применение каждого из них определяется в отдельных случаях теми целями, которые при оценке преследуются. Финансовая мощьность предприятия, его способность вынести налоговые тяготы со стороны государственного аппарата, а равно и ценность его при переходе от одного владельца

к другому—хорошо определяется вторым способом—по доходу дороги. Оценка по нарицательному капиталу удобна, конечно, своей простотой. Что касается оценки по стоимости наличного имущества с учетом износа и с добавкой оценки „невещественных преимуществ“, то способ этот слишком субъективен, и результаты оценки могут совершенно не соответствовать ни общественной полезности предприятия, ни коммерческой его выгоды для владельца.

Иначе приходится подходить к оценке жел. дороги, если целью оценки оказывается выяснение стоимости наличной массы имущества. Может быть случай, когда дорога подлежит оценке не как доходное предприятие, а как имущество *sui generis* (особого рода), которое необходимо стране, и которое в случае его отсутствия вызвало бы известные затраты для его воспроизведения. Именно в таком положении оказываются жел. дороги СССР, при чем вследствие гражданской войны и революции и самый состав имущества их подвергся существенным переменам. При оценке стоимости имущества приходится разрешить вопрос о ценах, по которым производится оценка, и о порядке учета износа имущества.

Абсолютно необходимым условием оценки разнообразных элементов жел.-дор. имущества является приведение всех цен к одному и тому же моменту; хотя при этом может оказаться, что отдельные виды имущества будут оценены дешевле или дороже того, во что они обошлись при их создании на дороге,—пользоваться ценами приобретения возможно при переоценке лишь в том случае, если они не изменились до момента переоценки. Для проведения оценки всего имущества необходимо или иметь данные о составе жел.-дор. имущества, или одновременно с оценкой произвести инвентаризацию имущества. Основой последней должна быть подробная номенклатура жел.-дор. имущества, подобная упомянутой выше на стр. 16. Оценка должна быть сделана по каждой группе номенклатуры, при чем в результате такой работы может быть определена стоимость всех составных частей имущества жел.-дор. При этом стоимость имущества может выясняться двойкая. С одной стороны подлежит установлению стоимость всей массы имущества в предположении воспроизведения его в неизношенном состоянии. Эта стоимость аналогична той, которая получается в результате применения четвертого вышеописанного способа определения стоимости дороги, как предприятия. С другой стороны, подлежит выяснению стоимость наличного оборудования железной дороги в изношенном состоянии. Самый порядок и способы определения износа имущества представляются сложной задачей, так как при этом скидки на износ должны соответствовать естественному ходу обеспечения имущества, а последнее доныне остается в технике далеко не во всех случаях изученным. Обычно приходится делать некоторые гипотетические предположения о ходе износа, которые только в большей или меньшей степени приближаются к действительности.

### Износ железнодорожного имущества.

Основные предположения, которые могут быть сделаны о характере износа жел.-дор. имущества, сводятся к следующему.

Можно допустить, что обесценение элементов имущества составляет ежегодно один и тот же процент от первоначальной его стоимости. Изменение стоимости имущества вследствие износа будет происходить по закону прямой (см. фиг. 1 на стр. 20), и величина годового износа составит:

$$f = \frac{K - K_k}{n},$$

а износ по стечении  $t$  лет

$$F_t = t \frac{K - K_k}{n}, \text{ где}$$

$n$ —средний срок службы имущества,

$K$ —первоначальная стоимость имущества,

$K_k$ —остаточная его стоимость по истечении среднего срока службы, т.-е. через  $n$  лет службы.<sup>1</sup>

Величина износа прежде всего связана с общей продолжительностью срока службы изучаемого имущества. По некоторым видам жел.-дор. имущества средний срок службы можно определить по статистическим данным. Такая возможность существует, напр., для паровозов, для шпал, отчасти для вагонов, так как по этим группам имущества известен возраст каждого из наличных предметов или их группы. По большинству видов имущества, особенно с большими средними сроками службы (здания, мосты и т. п.), самая продолжительность существования железных дорог недостаточна для того, чтобы можно было накопить нужный для точных выводов статистический материал. Поэтому средний срок службы здесь приходится принимать не на основании точных статистических данных, а применительно к имеющимся, не всегда достаточно полным, наблюдениям над заменой отслуживших сооружений. Средние сроки службы, которые можно принимать для отдельных видов сооружений и имущества дороги, ныне установлены НКПС (см. стр. 15). Надо иметь в виду, что срок службы сооружений существенно зависит от качества и своевременности капитального, а также и текущего ремонта. Увеличивая интервалы между капитальными ремонтами и запуская состояние имущества, мы в общем понижаем возможный срок его службы. Стоимость капитального ремонта сооружений в первой половине их жизни оказывается дешевле, а затем начинает возрастать, при чем после известного предела, близкого к среднему сроку службы, это возрастание делается настолько резким, что дальнейшая служба сооружения оказывается невыгодной.

<sup>1</sup> Для упрощения, если не принимать во внимание лома,  $K_k$  можно считать равным нулю.

В связи с этим может быть поставлен вопрос о наиболее выгодном сроке службы сооружения.

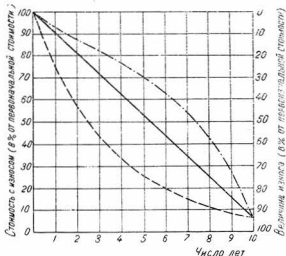
Вопрос этот подробнее будет освещен далее в главе о возобновлении имущества.

Прямой линейный закон износа имущества под влиянием времени является простейшим, и в связи с неизученностью явления эта простота оказывается весьма существенной. Однако, существуют и другие теории постепенного хода износа.

Если предположить, что имущество обесценивается в первые годы сильнее, а затем медленнее, то кривая износа будет обращена к началу координат выпуклостью; в этом случае величина годового износа будет переменная, и закон ее изменения может быть различным. В С.-А. С. Ш. пользуются формулой Матисона (Matheson), которая выведена в предположении, что годовой износ составляет постоянный процент не от первоначальной стоимости имущества, а от остаточной стоимости в начале изучаемого года.<sup>1</sup> Износ по истечении  $t$  лет в таком случае выразится:

$$F_t = K - K(1-k)^t,$$

где  $k$  — постоянный процент износа от остаточной стоимости в начале каждого года из числа прошедших  $t$  лет.



Фиг. 1. Сравнительный график различных предположений об износе.

теории вероятности. Допустим, что кривая, изображенная на фиг. 2 выражает кривую распределения по срокам службы каких-либо однородных единиц, входящих в состав имущества (напр. шпалы, паровозы, вагоны и т. п.). Ординаты этой кривой показывают численность предметов, имеющих сроки службы, отвечающие абсциссам. Пусть

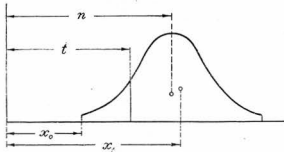
Если, наоборот, предположить, что износ идет в первые годы более медленно, а в последующие более быстро, то кривая износа будет обращена к началу координат вогнутостью, и величина годового износа также будет переменной. Степень вогнутости кривой будет зависеть от закона изменения величин износа (фиг. 1).

Гораздо более логичным способом определения износа в зависимости от возраста является прием, основанный на математической

<sup>1</sup> J. C. Fish. Engineering Economics, N. Y. 1915. p. 55.

средний срок службы всей совокупности единиц— $n$  лет (центр тяжести фигуры). Допустим, что изучаемое сооружение прослужило  $t$  лет; тогда средний *ожидаемый* срок службы для него  $x_t$  будет определяться центром тяжести фигуры, отсекаемой ординатой с абсциссой  $t$  от всей кривой распределения. Так как центр тяжести этой фигуры всегда будет правее центра тяжести всей кривой распределения, то

$$x_t > n.$$



Фиг. 2. Кривая распределения по срокам службы однородных элементов имущества.

Поэтому все те элементы имущества, которые доживут до возраста  $x_0$  или большего, будут иметь вероятный срок службы больше  $n$ . Таким образом представляется более целесообразным ориентироваться не на средний срок службы  $n$ , а на ожидаемый  $x_t$ , и величина годового износа выразится формулой:

$$f = \frac{K - K_t}{x_t},$$

а износ по истечении  $t$  лет:

$$F_t = (K - K_t) \frac{x_t - t}{x_t}.$$

Задача заключается в том, чтобы для заданного возраста  $t$  лет найти ожидаемый срок службы  $x_t$  или  $(x_t - t)$  — остаточный срок службы. Зная кривую распределения, найти величину  $x_t$ , как центр тяжести определенной геометрической фигуры, не представляет затруднений. Что же касается кривой распределения, то если закон ее не известен, то с достаточной точностью можно принять закон распределения, отвечающим нормальной кривой Лапласа—Гаусса, вид которой и изображен на чертеже. В этом последнем предположении можно заранее вычислить для различных величин  $n$  величину износа  $F_t$  и составить таблицы, из которых для данного  $n$  и будет находиться величина износа или остаточная стоимость имущества, прослужившего  $t$  лет<sup>1</sup>. Таким образом, может быть найдена стоимость имущества с учетом износа в зависимости от возраста  $t$ .

Из четырех охарактеризованных способов учета износа в зависимости от времени—наиболее рациональным надо считать последний,

<sup>1</sup> Подробнее см. М. М. Филоненко-Бородич. „Математические основы теории амортизации“. Труды Экономического Бюро НКПС<sup>4</sup>, выпуск 1, стр. 49. Там же помещены и таблицы остаточной стоимости имущества, составленные в предположении  $K_t = 0$ .

который является уточнением первого, наиболее простого, но и слишком грубого приема.

Выяснение стоимости имущества в изношенном состоянии, которое производится при инвентаризации, имеет целью выяснить степень износа массы имущества. Последнее имеет особое значение в тех случаях, когда вследствие недостаточного ремонта сооружений, они находятся в запущенном состоянии, и необходимо выяснить степень этой запущенности.

Теория показывает, что по истечении продолжительного периода от начального момента работы данного элемента оборудования, после того как оно успеет несколько раз быть замененным новым имуществом, степень его износа при нормальной запущенности и нормальном ремонте близка к 50%<sup>1</sup>. Это показывает, что для старых железных дорог, с возрастом 40—50 лет, считать износ в 25—30% чем-то чрезмерным совершенно не приходится. Лишь присоединением к старым участкам новых линий, которое понижает возраст всей административной единицы, можно объяснить более низкие величины процентов износа, если они имеют место на отдельных дорогах.

### Стоимость железнодорожного имущества.

Как уже было сказано, точных цифр, выражающих стоимость составных частей нашего жел.-дор. имущества, мы не имеем ни за довоенное время, ни за послереволюционный период. С целью определения начального баланса правлений железных дорог НКПС произвел в 1923 году инвентаризацию имущества железных дорог; полученные при этом цифры, ввиду некоторых методологических неправомерностей, можно считать только приблизительными, но за отсутствием других данных приходится пока пользоваться ими. На основании результатов инвентаризации все имущество может быть разделено на три основных группы:

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 1) Сооружения . . . . .            | 67%  |
| 2) Подвижной состав . . . . .      | 32%  |
| 3) Инвентарное имущество . . . . . | 1%   |
|                                    | 100% |

Общая стоимость имущества определилась при инвентаризации с учетом износа в 5,05 млрд. довоенных руб. Так как величина износа оказалась равной 17%, то послевоенную стоимость имущества наших дорог надо ценить примерно в 6,1 млрд. довоен. руб. В 1927 г. предполагается начать повторную инвентаризацию, и тогда можно будет получить более подробные сведения о составе имущества железных дорог и в частности данные об относительной стоимости отдель-

<sup>1</sup> См. М. М. Филоненко-Бородич. Цит. сочин. Стр. 123.

ных групп жел.-дор. имущества. Пока же для ориентировки в вопросе о процентных долях отдельных групп имущества приходится пользоваться главным образом отчетным материалом о постройках железных дорог. В таблице II указаны средние процентные доли, приходящиеся на стоимость главнейших составных частей имущества железной дороги в период, непосредственно следующий за открытием движения. Разумеется, доли эти оказываются различными в зависимости от типов искусственных сооружений, веса рельсов, материала зданий (дерево или кирпич) и т. п.; кроме того, надо иметь в виду, что соотношение стоимостей, по мере роста хозяйства дороги, меняется, и в частности растет доля стоимости подвижного состава. Приведенные цифры относятся к дороге средней трудности магистрального типа.

Т А Б Л И Ц А II.

Процентные доли стоимости жел. дороги, приходящиеся на главнейшие составные части ее имущества.

| № № | НАИМЕНОВАНИЕ ИМУЩЕСТВА             | % %   |
|-----|------------------------------------|-------|
| 1   | Отчуждение имущества . . . . .     | 4     |
| 2   | Земляное полотно . . . . .         | 16    |
| 3   | Искусственные сооружения . . . . . | 15    |
| 4   | Верхнее строение . . . . .         | 15,75 |
| 5   | Принадлежности пути . . . . .      | 0,25  |
| 6   | Телеграф . . . . .                 | 1     |
| 7   | Путевые постройки . . . . .        | 4     |
| 8   | Станционные постройки . . . . .    | 10    |
| 9   | Водоснабжение станций . . . . .    | 3     |
| 10  | Принадлежности станций . . . . .   | 3     |
| 11  | Общие расходы . . . . .            | 8     |
| 12  | Подвижной состав . . . . .         | 19    |
|     |                                    | 100   |

Соотношение стоимостей частей имущества железных дорог в разных странах, конечно, неодинаково. Для германских дорог Э. Закс приводит следующие цифры:

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| Стоимость земли . . . . .                            | 9%  |
| Земляные работы и искусственные сооружения . . . . . | 31% |
| Верхнее строение, включая сигнализацию . . . . .     | 27% |
| Гражданские сооружения . . . . .                     | 16% |
| Подвижной состав . . . . .                           | 17% |

Что касается Англии, то Acworth, анализируя данные, касающиеся 35.000 км железных дорог, указывает, что из стоимости чисто жел.-дор. имущества, равной 9,7 млрд. рублей, на долю пути и сооружений приходится 74<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, а на долю подвижного состава 14<sup>0</sup>/<sub>100</sub>. Причиной этого является в частности дороговизна отчуждения земель в Англии<sup>1</sup>.

Учет стоимости имущества в балансе предприятия сводится на русских железных дорогах обычно к учету активного капитала в изношенном состоянии. Порядок учета обесценения имущества не настолько разработан, чтобы уже найти отражение в счетоводстве наших дорог. В балансе предприятия показывается таким образом по активу как первоначальная стоимость сооружений, так и стоимость всех последующих дополнений и расширений имущественной массы. Однако, для правильного представления о стоимости жел.-дор. имущества, не только с точки зрения жел.-дор. экономки, но и с точки зрения счетоводства, учет его обесценения является необходимым. Задача бухгалтерского учета в каждый данный момент отражать действительное состояние и степень изношенности имущества, и это может быть достигнуто ведением особого счета обесценения имущества. Средством для ликвидации обесценения и поддержания имущества в состоянии непрерывной годности к работе являются особые ежегодные отчисления, предназначенные на возобновление имущества.

### ГЛАВА III.

## Возобновление имущества железных дорог.

### Задачи реновации и ее объекты.

Несмотря на ремонт, имущество железных дорог постепенно стареет и изнашивается, и наконец приходит в такое состояние, что его дальнейшее использование делается нерациональным или вовсе невозможным. Для продолжения работы дороги износившееся имущество приходится заменять новым, а следовательно, нужно изыскивать средства на эту замену.

В первый период работы жел.-дор. предприятия необходимость замены отслуживших элементов имущества не сказывается остро, так как главная масса оборудования имеет сроки службы не меньше 20 лет. Поэтому в довоенное время замена пришедшего в негодность имущества производилась на наших дорогах за счет сметы эксплуатационных расходов, где и имелись соответствующие рубрики расходов на возобновление имущества: рельсов, шпал и некоторых других видов имущества. До тех пор, пока замене ежегодно подлежат сравнительно небольшое количество предметов и расход на эту группу не велик, расходование по смете не вызывает особых затруднений. Однако,

<sup>1</sup> W. M. Acworth. The elements of railway economics, 1921, p. 12.

когда наступает период замены более крупных сооружений, проводить расходы по эксплуатационной смете неудобно, так как расходы на замену имущества не постоянны по годам; при занесении в смету данного года расходов на возобновление имущества, подлежащего замене именно в данном году, мы имели бы в один год большие эксплуатационные расходы, а в другие меньшие. Так как износ сооружений неизбежен, и время замены может быть с достаточной точностью предвидено заранее, вполне естественной является мысль создать такой порядок, при котором было бы возможно избежать постоянных колебаний эксплуатационных расходов. Если известно, что через  $n$  лет данное имущество придется заменить новым, то следует ежегодно откладывать некоторую одинаковую сумму денег и к моменту замены накопить необходимые средства. В этом случае ежегодный расход будет оставаться постоянным, и средства на замену будут получаться из накапливаемого фонда. Такой порядок удобен еще и в том отношении, что параллельно с износом имущества (предполагая его равномерным по годам) отчисляются средства из валового дохода дороги и упрощается калькуляция стоимости перевозки, куда расходы на возобновление имущества безусловно должны входить. Ежегодные отчисления, назначенные на возобновление имущества, носят название возобновительных (реновационных), а вся операция по проведению отчислений, накоплению соответствующих сумм и замене отслуживших предметов — возобновлением (реновацией) имущества.<sup>1</sup>

Задачей реновации является, таким образом, обеспечить путем изменяющихся годовых отчислений возможность возобновления имущества в его первоначальном виде и состоянии. Идея реновационного фонда является лишь последствием производства отчислений, которые в некоторые годы (особенно начальный период существования дороги) оказываются больше, чем необходимый в эти годы расход на замену имущества. Для того, чтобы накапливаемые средства оказались достаточными для замены оборудования дороги и вместе с тем, чтобы размер годовых отчислений не превышал необходимого минимума, необходимо обстоятельно выяснить и размер сумм, подлежащих накоплению, и порядок накопления.

Размер денежных средств необходимых для возможности осуществить замену имущества, определяется стоимостью имущества, подлежащего возобновлению. Возникает вопрос, для всех ли видов имущества железных дорог надо предвидеть реновационные отчисления. Относительно подвижного состава, зданий, каменных и металлических мостов и инвентаря — сомнений не возникает; расходятся мнения только

<sup>1</sup> Обычно термин „возобновления“ — реновации — заменяют словом амортизация; однако, название это неправильно, так как при амортизации (amorti) может идти речь об „отмирании“ (уничтожении, погашении, напр., капитального долга, когда он постепенными взносами доводится до нуля), а не о возобновлении (renovation), как это в данном случае происходит с имуществом.

относительно земляного полотна, которое по мнению некоторых можно считать существующим неопределенно долго и потому не требующим реновации. Теоретически ввиду наличия на железных дорогах оползней, обвалов и других крупных деформаций полотна, которые не могут быть ликвидированы капитальным ремонтом, правильно было бы считать, что и полотно подлежит реновации, но только срок его службы надо считать достаточно продолжительным. Однако, величина отчислений настолько невелика и вызывает столько споров, что практически для земляного полотна можно не вводить реновационных отчислений. Что касается стоимости имущества, которую надо принимать во внимание при реновации, то у нас Союзный Госплан признал правильным исходить не только из непосредственной стоимости материалов и рабочей силы, затраченных на имущество, но учитывать и накладные расходы в нормальном размере (см. стр. 14).<sup>1</sup> Таким образом сумма, подлежащая накоплению, определяется почти полной строительной стоимостью дороги: исключаются лишь расходы, связанные с занятием земель (уничтожение посевов, снос строений, рубка леса) и расходы по устройству временных сооружений (временные: дороги, мосты, переправы и телеграф). Исходными данными о стоимости имущества должны служить или материалы инвентаризации или подробные отчетные сведения о постройке дороги. Условием правильного определения годовых расходов на реновацию является наличие данных о стоимости в отдельности каждой группы имущества, характеризуемой особым сроком службы; так как извлекать такие данные из отчетов не всегда удастся, проведение научно поставленной инвентаризации имущества является особенно важным для целей реновации.

### Расчет реновационных отчислений.

Выбор способа накопления денежных сумм, нужных для реновации, зависит от той обстановки, при которой вводятся реновационные отчисления. Существуют следующие два способа накопления.

Если мы имеем в виду через  $n$  лет заменить имущество, первоначальная стоимость которого  $K$  рублей, то ежегодный расход должен составить

$$k = \frac{K}{n}.$$

Величина  $h = \frac{k}{K} = \frac{1}{n}$  — так называемый реновационный множитель — определит в общем случае долю ежегодного реновационного отчисления.

Однако, если с первого года работы данного имущества мы будем производить регулярные отчисления, то собираемые суммы ока-

<sup>1</sup> Финансовые потери (стоимость реализации капитала) Госплан принимать во внимание не считает нужным.

жуются в течение всего срока службы имущества неиспользованными, или использованными для других целей по усмотрению банка, которому мы эти суммы передадим. Поскольку является возможность в течение  $n$  лет использовать накапливаемые средства и получать на них (напр., в банке) проценты, ежегодная сумма отчислений может быть уменьшена. Таким образом для определения величины реновационных отчислений взамен первого способа — без учета процентов — можно применить другой — с учетом начисления процентов на откладываемые ежегодно суммы.

Если  $r$  — величина банковских процентов, выплачиваемых по вкладам, то при ежегодных взносах  $k$  рублей, по истечении  $n$  лет образуется капитал

$$K = k \frac{p^n - 1}{p - 1},$$

где  $p = 1 + 0,01 r$ .

Отсюда найдется величина годового взноса  $k$ , необходимого для накопления через  $n$  лет первоначальной стоимости имущества  $K$ :

$$k = K \frac{p - 1}{p^n - 1}.$$

Величина реновационного множителя в этом случае:

$$h = \frac{k}{K} = \frac{p - 1}{p^n - 1}.$$

Приведенная формула предполагает сложные проценты, но если только вообще принимать во внимание проценты, то вести расчет по простым процентам невозможно.<sup>1</sup>

Учет нарастания процентов на годовые взносы позволяет существенно понизить величину реновационного множителя и следовательно годовые взносы на возобновление имущества. В табл. III приведены величины реновационных множителей для различных сроков службы в предположении беспроцентного накопления и при различных величинах банковских процентов.

Из этой таблицы видно, что даже при 4% банковского роста величина реновационного множителя уменьшается против беспроцентных расчетов: при  $n = 30$  лет — вдвое, при  $n = 50$  лет — втрое, при  $n = 100$  лет — в 12,5 раз. Отсюда ясно, какое значение имеет для величины годовых реновационных отчислений выбор системы накопления денежных средств. При правильном финансовом хозяйстве отчисления должны начинаться с первого же года, и тогда учет их по сложным процентам является бесспорным. В тех случаях, когда

<sup>1</sup> Такое предположение — простые проценты — абсолютно не соответствует какой бы то ни было финансовой практике: если проценты начислены, то они причисляются к основному взносу и на них также идут проценты.

ТАБЛИЦА III.

Реновационные множители для различных средних сроков службы имущества.

| n   | Без процентов | При банковских процентах |        |        |
|-----|---------------|--------------------------|--------|--------|
|     |               | 4%                       | 5%     | 6%     |
| 5   | 0,2000        | 0,1846                   | 0,1810 | 0,1771 |
| 10  | 0,1000        | 0,0833                   | 0,0793 | 0,0759 |
| 15  | 0,0667        | 0,0499                   | 0,0463 | 0,0430 |
| 20  | 0,0500        | 0,0336                   | 0,0302 | 0,0272 |
| 25  | 0,0400        | 0,0240                   | 0,0210 | 0,0182 |
| 30  | 0,0333        | 0,0178                   | 0,0151 | 0,0125 |
| 35  | 0,0286        | 0,0136                   | 0,0111 | 0,0090 |
| 40  | 0,0250        | 0,0105                   | 0,0083 | 0,0065 |
| 45  | 0,0222        | 0,0083                   | 0,0063 | 0,0047 |
| 50  | 0,0200        | 0,0066                   | 0,0048 | 0,0034 |
| 60  | 0,0167        | 0,0042                   | 0,0028 | 0,0019 |
| 70  | 0,0143        | 0,0027                   | 0,0017 | 0,0010 |
| 80  | 0,0125        | 0,0018                   | 0,0010 | 0,0006 |
| 90  | 0,0111        | 0,0012                   | 0,0006 | 0,0003 |
| 100 | 0,0100        | 0,0008                   | 0,0004 | 0,0002 |

в течение ряда лет существования предприятия отчислений не производилось, как, напр., на жел. дорогах СССР,—выбор системы реновации—без процентов или с учетом процентов—является в значительной степени вопросом финансовой политики.

Соответственно распределению всего жел.дор. имущества на группы по срокам службы и стоимости каждой группы можно исчислить по каждой группе годовые реновационные отчисления. Сумма их, отнесенная к общей стоимости имущества (полному основному капиталу дороги) даст величину среднего реновационного множителя для всей дороги. Так как имущество жел. дорог в общем достаточно устойчиво по своему составу, то подсчет, произведенный для какой-либо дороги по типу, близкому к обычному, даст понятие о средней величине множителя. Такие подсчеты были произведены несколькими исследователями, при чем результаты получались достаточно близкие друг к другу.

Если вести расчет накопления фонда без процентов, то величина реновационного множителя по отношению ко всему имуществу составляет в среднем  $k = 0,028—0,030$ . Отсюда вытекает, что средний

взвешенный срок службы всей массы имущества дорог составляет примерно 36—33 года.<sup>1</sup>

В предположении начисления процентов возобновительные множители получаются значительно меньшими; для среднего срока службы в 35 лет при 4% величина  $h = 0,0136$ , т.е. в два раза меньше.

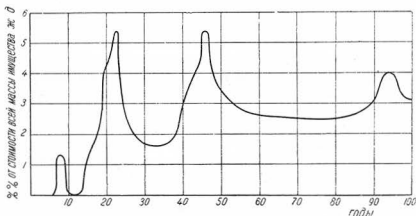
Как уже было сказано, в практике наших дорог было необычным накапливать особый реновационный фонд, и все неизбежные расходы на возобновление имущества производились за счет эксплуатационной сметы. В нее включалось почти целиком возобновление имущества с коротким (менее 15 лет) сроком службы, а кроме того и замена рельсов и переводов. Таким образом, часть чисто возобновительных отчислений проходила под видом расходов эксплуатации, хотя, конечно, это не могло изменить подлинно-реновационного характера этих расходов. Если считаться с наличием некоторой доли реновационных отчислений в составе сметных расходов, то придется говорить о необходимости лишь добавки к смете, чтобы полностью покрыть всю потребность в денежных средствах на возобновление имущества. Величина этого добавочного отчисления составляет при беспроцентном расчете около 1,75% от стоимости имущества, а при 4% на накапливаемый фонд—около 0,9%. Однако, когда реновационные отчисления на наших жел. дорогах будут установлены, правильнее будет, как это и решено Союзным Госпланом, выделить из эксплуатационной сметы все расходы возобновительного характера и вести расчет сразу на всю массу жел.-дор. имущества.

Таким образом, отчисления ежегодно сверх обычных эксплуатационных расходов 1,75% от стоимости имущества или—в зависимости от теоретических предпосылок при расчете—другую долю, мы обеспечим возможность производить расходы на возобновление имущества. Остатки от производимых отчислений должны ежегодно причисляться к реновационному фонду. Что касается техники проведения отчислений, то на них или может составляться особая смета, или они могут (но уже полностью, а не так, как у нас в довоенное время) проходить по эксплуатационной смете в соответствующих отделах. Последний способ принят в С.-А. С. Ш., где среди 232 номеров эксплуатационной сметы 57 касаются обесценения имущества (depreciation). Во всяком случае надо только иметь в виду, что в обоих случаях в сметы заносится не действительно ожидаемые величины расходов на возобновление, а расчетные доли реновации. Фактически произведенные за счет этих ассигнований работы явятся работами за счет возобновительного фонда и могут быть показаны в одной из дополнительных смет.

<sup>1</sup> См. «Материалы по вопросу о восстановлении основного капитала жел. дорог», «Труды Экономического Бюро НКПС» в. 1, статьи инж. Вал. Васильева и проф. Е. А. Гибшмана.

### Накопление и расходование реновационного фонда.

Состав имущества предприятия и распределение его по срокам службы оказывает серьезное влияние на ход накопления и расходования реновационного фонда. На фиг. 3 показано, как примерно изменяются по годам расходы на возобновление имущества жел. дороги. Огложим на чертеже по ординатам величины необходимых фактических годовых расходов на возобновление в процентах от всей стоимости имущества. Мы видим, что до 16—18-летнего возраста дороги расходы незначительны; на 20—24 годах годовые расходы доходят до величины  $5,5\%$  от стоимости имущества и к 30—36 годам снижаются до  $1,6\%$ . Следующий подъем расходов определяется к 46—47 годам (опять около  $5,5\%$ ), а соответствующее снижение приходится на 75—80 год, где ординаты кривой составляют уже  $2,5\%$ . Третий

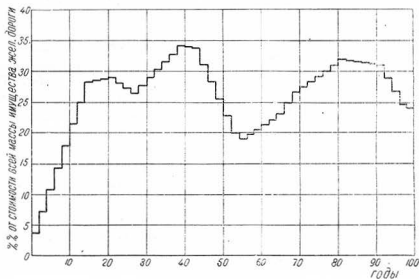


Фиг. 3. Колебание фактических расходов на возобновление жел.-дор. имущества по годам.

подъем (уже только до  $4\%$ ) приходится на 92—96 годы жизни дороги. Из этой кривой мы видим, что расходные волны постепенно затухают, и точки максимумов и минимумов сближаются; ясно, что по истечении 150—200 лет существования дороги годовые расходы на возобновление сделаются почти постоянными, если, конечно, жел.-дор. предприятие не будет расширяться, и среди старого имущества не появятся новые элементы.<sup>1</sup> В соответствии с необходимостью замены выходящего из работы имущества будет изменяться и масса денежных средств, накапливающихся в составе реновационного фонда. В первые годы фонд будет возрастать, а затем рост его приостанавливается. На фиг. 4 указаны изменения в наличии фонда (при беспроцентном его накоплении) в связи с необходимостью возобновлять имущество в сроки, принятые при построении предыдущего чертежа (фиг. 3). При этом чертеж построен в предположении производства реновационных отчи-

<sup>1</sup> В последнем случае явление приобретает более сложный характер, но сущность его остается без перемены.

слений в размере 1,75% сверх обычных эксплуатационных расходов. Прекращение резкого роста фонда приходится в данном случае на 14 год, а с 22 года начинается частичное его снижение. В 40 году размер фонда достигает своего максимума, а затем начинается волнообразное колебание кривой фонда. Как видно из чертежа, кривая фонда и на 100 году не спускается к оси абсцисс. При этом обнаруживается весьма интересное обстоятельство. Теоретически можно доказать, что по истечении достаточно продолжительного периода величина фонда будет всегда составлять 50% от первоначальной



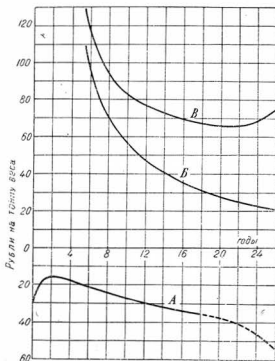
Фиг. 4. Наростание и расходование реновационного фонда.

стоимости заменяемого имущества. Для объяснения этого следует иметь в виду, что в период уже затухших колебаний расходов на замену имущества (фиг. 3), т.е. после 150—200 лет, мы будем ежегодно заменять постоянно одну и ту же долю всей имущественной массы, и средний рабочий износ ее, как уже сказано, будет всегда составлять 50% (стр. 22). Между тем, наличие неизрасходованного реновационного фонда должно характеризовать степень изношенности имущества: напр., для имущества со сроком службы 20 лет—в начале фонд равен нулю, стоимость имущества 100%; через 5 лет фонд должен быть равен 25%, а стоимость имущества—75%, через 20 лет фонд=100%, а стоимость имущества равна нулю.<sup>1</sup> Поэтому, если износ массы имущества устанавливается по истечении 150—200 лет равным 50%, то естественно, что наличный фонд должен быть равен половине первоначальной стоимости имущества.

<sup>1</sup> Стоимость лома здесь не принята во внимание.

### Наивыгоднейший срок службы имущества.

Необходимо иметь в виду, что реновационные отчисления строятся в предположении, что имущество подвергается нормальному текущему и капитальному ремонту. Как было ранее упомянуто (стр. 19), стоимость годового ремонта сооружений возрастает по мере увеличения их возраста. Если допускать более продолжительные средние сроки службы



Фиг. 5. Определение наивыгоднейшего срока службы элементов жел.-дор. имущества (паровозов). А—Средняя за все время от начала службы ежегодная стоимость ремонта паровозов на тонну веса. Б—Размер ежегодных отчислений на возобновление паровозов при разных сроках службы на тонну веса, В—Сумма ординат кривых А и Б.

величину реновационных отчислений, соответствующих последовательно каждому сроку существования паровоза, также отнеся это на тонну веса. Первая кривая—А по мере увеличения числа лет дает рост ординат, а вторая—Б их снижение. Кривая В, выражающая сумму ординат обеих кривых, дает минимум в пределах 20—22 лет.<sup>2</sup> Отсюда наглядно видно, что увеличение срока службы для хозяйства предприятия далеко не всегда выгодно.

<sup>1</sup> „Опытные данные и результаты исследований паровозов Владикавказской ж. д.“, под редакцией Ловушинского, 1905, и „Отчисления на возобновление имущества в ж.-д. предприятии“—инж. Вал. Васильева, 1925.

<sup>2</sup> За отсутствием данных о стоимости годовичного ремонта для паровозов старше 18 лет, кривую пришлось прочертить гипотетически.

то величина годовых реновационных отчислений будет уменьшаться, а средний годовой расход на ремонт будет расти. В связи с этим в отношении некоторых видов имущества можно попытаться найти наивыгоднейший срок службы. Такую задачу удобно решать, напр., по отношению к паровозам, так как имеются данные о погодных изменениях стоимости их ремонта.<sup>1</sup>

Если к концу каждого года существованию паровоза подсчитывать сумму денег, израсходованных на ремонт за все время службы паровоза, то, разделяя полученные величины на число протекших лет, будем находить среднюю от начала службы годовую стоимость ремонта паровоза. Величина эта, отнесенная к тонне веса, показана на фиг. 5. С другой стороны можно подсчитать

**Вопрос о реновации имущества на железных дорогах СССР.**

Что касается фактического проведения реновационных отчислений на железных дорогах СССР, то до настоящего времени они не производятся, хотя принципиально вопрос этот и разрешен в положительном смысле. В частности спор идет о размере и форме отчислений; Народный Комиссариат Финансов возражает против создания для железных дорог реновационного фонда и, повидимому, считает возможным ежегодно изменять величину ассигнований на железные дороги в зависимости от действительной потребности в замене элементов имущества. Как выше указывалось, такой порядок неудобен, и обойтись без затрат на замену имущества все равно невозможно. В других странах—Германии, С.-А. С. Ш., Швейцарии—вопрос о реновации, поставленный на очередь с начала текущего столетия, не только детально разработан (особенно в Швейцарии), но и проведен в жизнь. Величина реновационного фонда (фонда „обеспечения имущества“) железных дорог С.-А. С. Ш. достигла к 1924 году 1.411 милл. долларов.

*Проф. Е. Михальев.*

Инж. Д. И. Каргин

НОРМАЛЬНАЯ  
ОБСЛУЖЕННОСТЬ  
ЖЕЛЕЗНЫМИ ДОРОГАМИ

—♦□♦—

## Нормальная обслуженность железными дорогами.

Для сравнения обслуженности железными дорогами различных стран или областей, в заграничной печати пользуются двумя признаками: густотой сети и отношением длины таковой к численности населения. Неудобства такого метода заключаются в том, что приходится оперировать с двумя независимыми числами. В нашей печати уже привился другой способ определения обслуженности, учитывающий одновременно оба эти признака. Численная величина обслуженности определяется „коэффициентом обслуженности“, получающимся из арифметического произведения значений густоты сети и длины, приходящейся на единицу населения, так как обслуженность пропорциональна и той и другой величине.

Такой метод дает возможность вывести, например, заключение о том, что Европейская часть СССР (табл. I) при коэффициенте, равном 6, среди Европейских государств обслужена железными дорогами только лучше Турции и Албании, в два раза хуже Болгарии, в 4 раза слабее Польши и в 12 раз слабее Латвии, не говоря уже о Франции (обслуженность которой превосходит нашу в 22 раза) и Бельгии; последняя обслужена железными дорогами в 90 раз лучше, чем наша страна.

Считая Бельгию страной, достигшей насыщения железными дорогами, так как развитие сети в этом государстве уже приостановилось, определим, каких же размеров должна достигнуть сеть Европейской части СССР, чтобы сравняться по обслуженности с Бельгией.

Введем обозначения:

$L$  — длина сети государства.

$S$  — площадь территории государства.

$N$  — численность населения государства.

Тогда будем иметь:

Плотность населения страны

$$\delta = \frac{N}{S},$$

густота сети железных дорог

$$\lambda = \frac{L}{S},$$

отношение длины сети к числу жителей

$$\nu = \frac{L}{N},$$

коэффициент обслуженности

$$k = \lambda\nu = \frac{L^2}{SN},$$

откуда искомая длина

$$L = \sqrt{kSN} = 503.466 \text{ км},$$

где  $k = 543$  (коэффициент обслуженности Бельгии),  $S = 46.032$  поверхность Европейской части СССР (в сотнях кв. км) и  $N = 10.141$  население Европейской части СССР (в десятках тысяч жителей).

Таким образом, чтобы догнать Бельгию, нам пришлось бы достроить около 450.000 км железнодорожных линий, т.-е. такую длину, которая более, чем вся сеть Соединенных Штатов Америки.

Для того, чтобы сравняться по обслуженности с Францией, мы должны были бы иметь сеть, длиною, примерно, в 251.000 км.

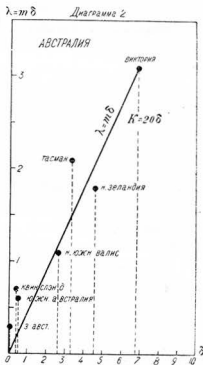
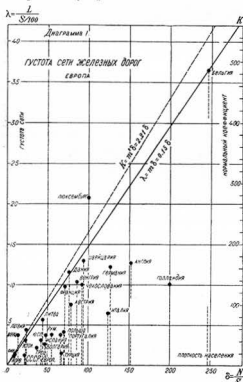
Получаются поистине астрономические цифры. Исчисляя по довоенным ценам стоимость постройки одного км железных дорог около 100.000 руб., нам пришлось бы затратить капитал в сумме около 25 млрд. руб. золотом для того, чтобы сравняться по обслуженности с Францией, и около 45 млрд. руб., чтобы дойти до уровня Бельгии. Более того, самой Франции пришлось бы достроить свыше 55.000 км железных дорог, чтобы догнать Бельгию; иначе говоря Франция должна затратить свыше 9 млрд. руб., считая для Франции довоенную стоимость одного километра в 166.400 руб.

Результаты настолько поразительные и непосильные для нации, что начинаешь сомневаться в правильности определения самого „коэффициента обслуженности“;<sup>1</sup> однако теория дает довольно прочное математическое его обоснование. В чем же дело?

Внимательное рассмотрение помещенной ниже таблицы дает возможность подметить следующую экономическую закономерность. Оказывается, что коэффициент обслуженности не является величиной произвольной и независимой; резко бросается в глаза зависимость значения его (а также и значения густоты сети ж. д.) от величины плотности населения; иначе говоря, производственные силы страны прежде всего определяются плотностью населения. Еще ярче этот закон выступает при рассмотрении диаграммы, на которой по гори-

<sup>1</sup> А некоторые авторы „для удобства“ вводит совершенно произвольное изменение величины коэффициента, принимая значение, равное корню квадратному из истинного значения коэффициента.

горизонтальному направлению отложены значения плотности населения различных государств, а по вертикальному направлению — значения густоты сети ж. д. Мы видим, что при слабой плотности населения значения густоты сети (а также и коэффициента обслуживания) более низкие и, наоборот, при возрастании плотности населения растет и густота сети жел. дор. Это не случайность, а экономическая необходимость. Через самого себя не перепрыгнешь. Разумеется, сравнение различных стран можно делать при всех прочих равных условиях. Поэтому диаграмма 1-я составлена для европейских народов, являющихся в своем историческом развитии более тесной семьей народов. Та же диаграмма подчеркивает отступления от правил для государств чем-либо выделяющихся, например: отставание Англии, Голландии и Италии объясняется развитой береговой линией, морское сообщение вдоль которой восполняет недостаток железных дорог; низкий коэффициент для СССР объясняется наличием ненаселенной пустынной территории северных губерний и т. д.



Отдельные территории Австралии также находятся в более или менее одинаковых экономических условиях. Диаграмма 2-я и для этой части земного шара подтверждает подмеченную нами экономическую зависимость.

Считая при наличной плотности населения, что размеры железнодорожной сети Бельгии, Швейцарии, Франции, Дании, Норвегии

ТАБЛИЦА I.  
Е В Р О П А.

| №№ по порядку | ГОСУДАРСТВА             | Длина ж. д. в 1922 г. км | Площадь территор. соти кв. км | Население в тысячах жителей | Плотность населения     | Длина железных дорог        |                            | Коэффициент обслуживания |                |
|---------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------|
|               |                         | $L$                      | $S/100$                       | $N/1000$                    | $\varphi = \frac{N}{S}$ | На 100 кв. км               | На 10.000 жителей          | Существующий             | Нормальный     |
|               |                         |                          |                               |                             |                         | $\lambda = \frac{L}{S/100}$ | $\nu = \frac{L}{N/10,000}$ | $k = \lambda \nu$        | $K = 2,21 \nu$ |
| 1             | Норвегия . . . . .      | 3.445                    | 3.096                         | 2.650                       | 9                       | 1,11                        | 13,00                      | 14                       | 20             |
| 2             | Финляндия . . . . .     | 4.290                    | 3.331                         | 3.365                       | 10                      | 1,29                        | 12,75                      | 16                       | 22             |
| 3             | Швеция . . . . .        | 15.186                   | 4.105                         | 5.904                       | 14                      | 3,70                        | 25,72                      | 95                       | 31             |
| 4             | СССР Европ. часть       | 53.654                   | 46.032                        | 101.410                     | 22                      | 1,17                        | 5,29                       | 6                        | 49             |
| 5             | Эстония . . . . .       | 1.433                    | 475                           | 1.111                       | 23                      | 3,02                        | 12,90                      | 39                       | 51             |
| 6             | Латвия . . . . .        | 2.849                    | 657                           | 1.596                       | 24                      | 4,34                        | 17,85                      | 77                       | 53             |
| 7             | Албания . . . . .       | 65                       | 310                           | 877                         | 26                      | 0,19                        | 0,74                       | 0,1                      | 57             |
| 8             | Греция . . . . .        | 3 192                    | 1.476                         | 5.536                       | 37                      | 2,16                        | 5,77                       | 12                       | 82             |
| 9             | Испания . . . . .       | 15.520                   | 5.052                         | 21.338                      | 42                      | 3,07                        | 7,27                       | 22                       | 93             |
| 10            | Литва . . . . .         | 3.120                    | 553                           | 2.430                       | 44                      | 5,64                        | 12,84                      | 72                       | 97             |
| 11            | Болгария . . . . .      | 2.614                    | 1.032                         | 4.861                       | 47                      | 2,53                        | 5,38                       | 14                       | 104            |
| 12            | Юго-Славия . . . . .    | 9.172                    | 2.490                         | 12.071                      | 48                      | 3,68                        | 7,63                       | 28                       | 106            |
| 13            | Румыния . . . . .       | 11.789                   | 3.161                         | 17.393                      | 55                      | 3,73                        | 6,78                       | 25                       | 122            |
| 14            | Португалия . . . . .    | 3.427                    | 919                           | 6.033                       | 66                      | 3,73                        | 5,68                       | 21                       | 146            |
| 15            | Турция . . . . .        | 414                      | 282                           | 1.900                       | 67                      | 1,47                        | 2,18                       | 3                        | 148            |
| 16            | Польша . . . . .        | 15.887                   | 3.865                         | 27.179                      | 70                      | 4,11                        | 5,85                       | 24                       | 155            |
| 17            | Франция . . . . .       | 53.561                   | 5.510                         | 39.210                      | 71                      | 9,72                        | 13,66                      | 133                      | 157            |
| 18            | Дания . . . . .         | 4.967                    | 430                           | 3.268                       | 76                      | 11,55                       | 15,20                      | 176                      | 168            |
| 19            | Австралия . . . . .     | 6.339                    | 840                           | 6.655                       | 79                      | 7,55                        | 9,53                       | 72                       | 175            |
| 20            | Венгрия . . . . .       | 9.529                    | 927                           | 7.981                       | 86                      | 10,28                       | 11,94                      | 123                      | 190            |
| 21            | Чехо-Словакия . . . . . | 14.030                   | 1.405                         | 13.611                      | 92                      | 9,99                        | 10,31                      | 103                      | 202            |
| 22            | Швейцария . . . . .     | 5.348                    | 413                           | 3.886                       | 94                      | 12,95                       | 13,78                      | 178                      | 201            |
| 23            | Люксембург . . . . .    | 538                      | 26                            | 261                         | 100                     | 20,69                       | 20,61                      | 426                      | 221            |
| 24            | Италия . . . . .        | 20.118                   | 3.126                         | 38.836                      | 124                     | 6,44                        | 5,18                       | 33                       | 274            |
| 25            | Германия . . . . .      | 57.652                   | 4.739                         | 60.209                      | 127                     | 12,18                       | 9,58                       | 117                      | 281            |
| 26            | Англия . . . . .        | 39.262                   | 3.105                         | 47.222                      | 152                     | 12,64                       | 8,31                       | 105                      | 236            |
| 27            | Голландия . . . . .     | 3.444                    | 342                           | 6.865                       | 200                     | 10,07                       | 5,02                       | 51                       | 442            |
| 28            | Бельгия . . . . .       | 11.093                   | 304                           | 7.462                       | 247                     | 36,49                       | 14,87                      | 543                      | 543            |

Пример: Для СССР нормальная густота сети  $\lambda = m \varphi = 0,15 \cdot 22 = 3,3$  км/100 кв. км.  
 " " нормальный коэффци. обслуживания  $K = M \varphi = m \varphi = 2,21 \cdot 22 = 49$ .

ТАБЛИЦА II.  
АВСТРАЛИЯ.

| №№ по порядку | СТРАНЫ                   | Плотность населения     | Длина ж. д. на 100 кв. км   | Коэффициент обслуженности                    |                      |
|---------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|----------------------|
|               |                          | $\varrho = \frac{N}{S}$ | $\lambda = \frac{L}{S/100}$ | Существующий                                 | Нормальный           |
|               |                          |                         |                             | $k = \frac{\lambda^2}{\delta} = \lambda \nu$ | $K = M\delta = 20\%$ |
| 1             | Зап. Австралия . . . . . | 0,1                     | 0,3                         | 70,5                                         | 2                    |
| 2             | Квинслэнд . . . . .      | 0,4                     | 0,7                         | 105,3                                        | 8                    |
| 3             | Южн. Австралия . . . . . | 0,5                     | 0,6                         | 68,1                                         | 10                   |
| 4             | Н. Южн. Валлис . . . . . | 2,6                     | 1,1                         | 46,2                                         | 54                   |
| 5             | Тасмания . . . . .       | 3,2                     | 2,1                         | 137,8                                        | 67                   |
| 6             | Ново-Зеландия . . . . .  | 4,5                     | 1,8                         | 72,0                                         | 94                   |
| 7             | Виктория . . . . .       | 6,7                     | 3,1                         | 145,2                                        | 145                  |

*Примечание к табл. II.* По отношению к Австралии условно нами принята нормальная обслуженность железных дорог Виктории. Разумеется на это надо смотреть, как на первое приближение и правильнее считать эту величину ниже нормальной; однако таковая условность не влияет на выявление закономерной зависимости между значениями  $\lambda$  и  $\varrho$ .

и некоторых других государств, могут быть приняты как нормальные, мы можем, провести кривую линию, выражающую пределы нормального развития густоты сети железных дорог в зависимости от плотности населения. К этим пределам должны стремиться остальные государства, не вызывая чрезмерных и непосильных для нации расходов. Кривую эту назовем *графиком нормальной обслуженности*, так как такая кривая, как показано ниже, выражает собою закон изменения нормального коэффициента обслуженности. Кривая эта позволяет решать задачи об определении необходимых размеров сети при данной плотности населения, а также сравнивать между собою отдельные государства.

Выведем аналитическую зависимость. Из диаграммы видно, что график является прямой линией, а потому между величинами  $\lambda$  и  $\delta$  существует зависимость

$$\lambda = m\delta,$$

где величина  $m$  является постоянным численным коэффициентом.<sup>1</sup> Делаем такое преобразование:

$$K = \frac{L^2}{SN} = \left(\frac{L}{S}\right)^2 : \left(\frac{N}{S}\right) = \frac{\lambda^2}{\delta};$$

<sup>1</sup> Величина  $m = \frac{\lambda}{\delta} = \frac{L}{S} : \frac{N}{S} = \frac{L}{N}$ , т.е. представляет собою длину ж. д., приходящуюся на жителя. Численное значение для Европы равно 14,87 или при избранных нами измерителях  $\frac{14,87}{100} = 0,15$ .

видим, что обслуженность увеличивается в большей степени при меньшем пропорциональном приросте сети. Дальнейшие преобразования приводят к следующему:

$$K = \frac{\lambda^2}{\delta} = \frac{(m\delta)^2}{\delta} = m^2\delta = M\delta,$$

где  $M = m^2$  — постоянный коэффициент. Для европейских стран значение его, как видно из графика, равно 2,21.<sup>1</sup>

Последняя формула говорит, что *нормальная обслуженность для отдельных государств пропорциональна плотности населения*. Значение обслуженности получается, как арифметическое произведение из постоянного значения  $M$  на величину плотности  $\delta$ .

Для Европейской части СССР нормальная обслуженность равна 48. В настоящее время эта обслуженность ниже нормальной; для поднятия до нормы необходимо достроить все же около 100.000 км железнодорожных линий, однако эта цифра понизится, если отбросить ненаселенные места северных губерний.

Итак, мы приходим к заключению, что при сравнении между собою различных стран или областей и при решении вопроса о дальнейшем развитии сети жел. дорог надо стремиться не к уравнению их коэффициентов обслуженности, а доводить сеть жел. дорог до „нормального коэффициента“.

Подмеченный мною закон дает мне основание предложить делать сравнение между собою отдельных областей и стран по „нормальному коэффициенту“, а также предложить при печатании общих сравнительных статистических сведений о железных дорогах помещать, наряду с существующим коэффициентом обслуженности, также и „нормальный коэффициент“, сравнение с которым не будет приводить к указанным выше парадоксальным нежизненным результатам.

Чтобы не прибегать к вычислениям значения нормальной густоты сети и нормального коэффициента обслуженности, удобно получать графически из прилагаемой диаграммы.

Инженер Д. И. Карин.

Ленинград  
3 марта 1926 г.

<sup>1</sup> При наших измерителях  $M = m^2 = \frac{(14,87)^2}{100} = 2,21$ .

Инж. И. Я. Манос

ГАБАРИТЫ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
И ПРИБЛИЖЕНИЯ  
СТРОЕНИЯ К ПУТИ



## Г а б а р и т.

Для возможно свободного и вполне безопасного по рельсовым путям движения подвижного состава необходимо, чтобы ни одна из его частей не могла, ни при каком положении, зацепить ни за смежно стоящие сооружения и предметы, ни за проходящий по смежным путям подвижной состав.

Для выполнения этого условия, со времени основания железных дорог, в разных государствах были устанавливаемы габариты подвижного состава и габариты приближения строений к пути.

Габаритом подвижного состава называется поперечное предельное очертание подвижного состава вместе со всеми выступающими и висащими его частями и с поездными сигналами, при условии спокойного стояния подвижного состава на прямом пути. При этом средняя ось габарита подвижного состава, проведенная перпендикулярно к линии, касательной к головкам рельсов, совпадает с вертикальной осью пути.

Габарит или предельное очертание приближения строений к пути определяет наименьшие допустимые расстояния приближения строений и предметов на различных высотах от пути до его оси, проведенной вертикально через середину пути, вне зависимости от того, лежит ли путь горизонтально на прямом участке или имеет поперечный уклон на закруглениях.

Между габаритами подвижного состава и приближения строений к пути имеется свободное пространство, гарантирующее от зацепления подвижного состава за смежные предметы и сооружения. От зацепления же подвижного состава друг за друга устанавливались предельные наименьшие расстояния между осями смежных путей.

Разные государства вкладывают в понятия о габаритах разное содержание.

Германский габарит подвижного состава с наибольшей шириной в 3250 мм, принятый<sup>1</sup> также Болгарией, Данией, Румынией, Сербией и Польшей, не может быть полностью использован для очертания вагонов: ширина последних должна быть уменьшаема на некоторую величину, определяемую по особым формулам, в зависимости от длины и базы вагонов.

<sup>1</sup> Энциклопедия Roll X том 2-е издание, 1922 г., стр. 12—21.

Германский габарит приближения строений к пути применяется один и тот же как на прямых участках пути, так и на закруглениях с радиусами в 250 м и больше.

В габарите приближения строений<sup>1</sup> С.-А. Шгагов, расстояния приближения строений от пути изменяются в зависимости от радиуса кривых и от длины и базы (расстояния между шкворнями тележек или крайними осями) подвижного состава.

Габарит подвижного состава Норвежских жел. дор. с наибольшей шириной в 3400 мм, установлен для вагонов с кузовом длиной 18,2 м и с базой в 14,4 м; такой же габарит для Шведских жел. дорог допускает обращение вагонов длиной 24 м и с базой длиной 18 м и по кривым с радиусами до 180 м. При больших базах или длинах габариты должны соответственно изменяться.

Точно также жел. дор. Париж—Лион—Средиз. море допускает габарит подвижного состава шириной в 3200 мм для вагонов длиной только в 12 м; при больших длинах вагоны должны иметь меньшую ширину.

Международный габарит для транзитных вагонов шириной 3100 мм требует сужения подвижного состава против габарита, согласно указаний таблиц и формул.<sup>2</sup>

На Боснийских<sup>3</sup> жел. дорогах с колеи в 760 мм установлен габарит приближения строений для прямых участков пути, а на закруглениях он соответственно радиусу упрощается. Благодаря этому габарит подвижного состава на тех же дорогах не требует никаких ограничений. Практика применения нашего русского габарита подвижного состава 1893 года<sup>4</sup> требовала некоторого сужения длинных вагонов. Габарит же приближения строений того же 1893 года применялся без изменений как на прямых, так и на кривых участках пути.

Из приведенных справок видно, что ни габарит подвижного состава, ни габарит приближения строений к пути не являются постоянными неизменяемыми очертаниями, но, наоборот, по правилам многих государств они изменяются, в небольших, правда, пределах, в зависимости от длины корпуса подвижного состава, его базы и от радиуса закругления пути.

### Габарит подвижного состава.

Как были определены главные размеры габарита подвижного состава—ширина и высота—в литературе<sup>5</sup> не встречается указаний. Вернее всего предполагать, что эти размеры сложились исторически

<sup>1</sup> Trautwine. Издание 1919 г., стр. 1043.

<sup>2</sup> Technische-Vereinbarungen, V Nachtrag 1924 г.

<sup>3</sup> Журнал 6. Инж. Совета М-ва П. С. № 189, 1898 г.

<sup>4</sup> Энциклопедия Roll. Том X, 1922 г., стр. 15—20.

на основании применявшихся в начале постройки первых жел. дорог ширины и высот обыкновенных экипажей и вагонов конных железных дорог. Однако, эти размеры можно определить, исходя из устойчивости подвижного состава во время движения и во время нагрузки его. Чем шире колеса, тем большие размеры можно придать и высоте и ширине подвижного состава.

Высоту подвижного состава можно установить, исходя из условий:

а) чтобы равнодействующая сил тяжести, приложенная к центру тяжести, при стоянии подвижного состава на крутом закруглении, проходила в средней трети основания, считая за таковое путевые рельсы;

б) чтобы равнодействующая из центробежной силы и веса подвижного состава при прохождении его по закруглениям без поднятия наружного рельса, что имеет место, между прочим, на переводных стрелочных кривых, также не выходила из средней трети расстояния между рельсами.

Для простоты решения считаем, что центр тяжести находится посредине высоты подвижного состава (фиг. 1). Для выполнения первого условия необходимо, чтобы в треугольнике  $AOB$  было соблюдено равенство:

$$\frac{H_1}{2} \operatorname{tg} \alpha = \frac{K}{6}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{K}; \quad H_1 = \frac{K}{3 \operatorname{tg} \alpha}.$$

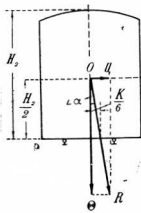
В этих выражениях обозначают:  $K$  — расстояние между осями путевых рельсов;  $h$  — возвышение наружного рельса над внутренним;  $H_1$  — предельную высоту подвижного состава. В наименее выгодном случае можно принять  $\operatorname{tg} \alpha = 0,1$ ;  $K$  для широкой русской колеи, приблизительно, равно 1580 мм. Подставив эти величины в выражение для  $H_1$ , получим

$$H_1 = \frac{1580}{3 \cdot 0,1} = 5267 \text{ мм.}$$

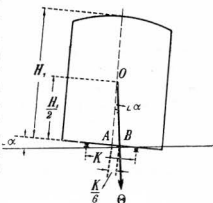
Для соблюдения второго условия (фиг. 2) необходимо, чтобы имелось следующее равенство:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{центробежная сила}}{\text{сила тяжести}} = \frac{MV^2}{R} : \theta = \frac{K}{6} : \frac{H_2}{2},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\theta V^2}{g(3,6)^2 R \theta} = \frac{K}{3H_2}; \quad H_2 = \frac{K g (3,6)^2 R}{3V^2}.$$



Фиг. 2.



Фиг. 1.

Подставим для широкой русской колеи значения:  $K = 1580$  мм,  $g = 9,81$  м,  $R = 150$  м,  $V = 40$  км/час., получим:  $H_2 = 6320$  мм.

Из двух значений  $H_1 = 5267$  мм и  $H_2 = 6320$  мм надо взять наименьшее:  $H_1 = 5267$  мм, которое соответствует высоте русского габарита подвижного состава, равной 5250 мм.

Второй пример для узкой колеи в 760 мм.

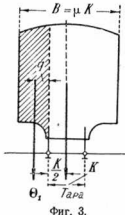
$$H_1 = \frac{K}{3 \operatorname{tg} \alpha}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{13}; \quad K = 800; \quad H_1 = \frac{800 \times 13}{3} = 3487 \text{ мм.}$$

$$H_2 = \frac{127 \times 800 \times R}{3V^2} = \frac{33900 \times 100}{30^2} = 3766.$$

В Боснийском габарите  $H = 3550$  мм.

Ширину габарита подвижного состава можно определить, исходя из следующего условия:

При погрузке груза в вагон сначала заполняют грузом пол вдоль продольной стенки вагона, а затем загружают весь пол. При такой погрузке, которая может иметь место на практике, вагон не должен опрокинуться.



Фиг. 3.

Примем ширину вагона равной  $B = \mu K$ , где  $\mu$  — коэффициент, подлежащий определению, а  $K$  — ширина колеи. Далее примем наименее выгодный случай, когда тара вагона равна 0,4 от груза. Тогда для устойчивости вагона необходимо, чтобы момент силы  $\theta_1$  (фиг. 3) на ее плечо  $q$  был менее момента силы веса тары на плечо  $\frac{K}{2}$ .

$$\theta_1 q \leq \text{тара} \times \frac{K}{2}; \quad \text{но тара} \geq 0,4g;$$

$$q = \frac{(\mu K - K)}{4} = \frac{(\mu - 1)K}{4}; \quad \theta_1 = \theta \frac{(\mu - 1)K}{2\mu k}.$$

Подставим все эти величины в неравенство, получим

$$\frac{\theta(\mu - 1)K}{2\mu k} \times \frac{(\mu - 1)K}{4} \leq 0,4g \frac{K}{2}$$

или после сокращения:

$$(\mu - 1)^2 \leq 1,6\mu$$

или

$$\mu^2 - 3,6\mu + 1 \leq 0.$$

Определим величину коэффициента  $\mu$  из его наибольшего предела:

$$\mu^2 - 3,6\mu + 1 = 0; \quad \mu = 3,3.$$

Так как габарит подвижного состава есть предел для очертания подвижного состава, то для него можно принять коэффициент  $\mu = 3,3$ .

На Боснийских железных дорогах ширина габарита подвижного состава равна 2500 мм при ширине колеи в 760 мм;

$$\mu K = \mu \cdot 760 = 2500;$$

откуда

$$\mu = 3,3.$$

Во всех Европейских габаритах коэффициент  $\mu$  меньше 3,3, что объясняется исторически сложившейся шириной габарита подвижного состава: смежно стоящие с путем сооружения в виде мостов, тоннелей, платформы, не дают возможности расширяться подвижному составу, хотя в последние годы и сделана попытка на германских жел. дорогах и в международных транзитных вагонах несколько увеличить ширину вагонов.

В нижепомещенной таблице показаны высоты и ширины некоторых габаритов Европейских государств и С. А. С. Штатов.

Таблица высот и ширины габаритов<sup>1</sup> подвижного состава некоторых Европейских государств и С. А. С. Штатов.

| НАИМЕНОВАНИЕ ГОСУДАРСТВ             | Колея<br>$K$ | Ширина по<br>корпусу $B$ | $\mu = \frac{B}{K}$ | Высота $H$ |
|-------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------------|------------|
| Германия . . . . .                  | 1.435        | 3.150                    | 2,19                | 4.300      |
| Франция (Париж—Лион—Сред. море) .   | —            | 3.200                    | 2,23                | 4.300      |
| Италия . . . . .                    | —            | 3.100                    | 2,16                | 4.300      |
| Норвегия и Швеция . . . . .         | —            | 3.400                    | 2,37                | 4.300      |
| Международн. Европ. габарит . . . . | —            | 3.100                    | 2,16                | 4.280      |
| С. А. С. Штаты . . . . .            | —            | 3.450                    | 2,40                | 5.000      |
| Босния и Герцеговина . . . . .      | 760          | 2.500                    | 3,30                | 3.550      |
| СССР габарит 1893 г. . . . .        | 1.524        | 3.414                    | 2,24                | 5.250      |
| „ „ 1925 г. . . . .                 | 1.524        | 3.850                    | 2,53                | 5.250      |
| „ „ 189 г. . . . .                  | 1.000        | 2.700                    | 2,70                | 4.050      |

Верх габарита подвижного состава правильнее всего очерчивать по дуге круга, имеющего центр посредине пути на уровне головок рельсов.

<sup>1</sup> По данным энциклопедического словаря Roll, том X, 1922 г. стр. 16—21 и Американской паровой энциклопедии 1925 г.

При таком очерчивании <sup>1</sup> верха габарита все точки поверхности крыши подвижного состава, при наклоне его на закруглениях, не будут выходить из пределов очертания подвижного состава и будут отстоять от верха габарита приближения строений на одно и то же расстояние.

Боковые стороны корпуса подвижного состава возможно очерчивать прямыми линиями параллельными средней оси. Между низом габарита подвижного состава и низом габарита приближения строений должно оставаться свободное пространство не менее 50 мм; при чем между путевыми рельсами низ габарита подвижного состава должен возвышаться над уровнем головок рельсов не менее, чем на 100 мм, а вне колеи не менее, чем 50 мм. В Германском габарите низ габарита подвижного состава поднят над рельсами на 130 мм.

Чем больше площадь габарита подвижного состава, тем можно шире и выше строить товарные и пассажирские вагоны. При большей полезной поперечной площади может быть больше погружено на погонный метр товарного вагона грузов. Точно также на погонный метр пассажирских вагонов может поместиться большее число пассажиров. При одном и том же весе поезда получается меньшая его длина; поезд содержит меньшее число вагонов и осей. Все эти обстоятельства уменьшают сопротивление поезда, количество расходуемой смазки, число обслуживающей бригады, уменьшают длину станционных путей, удешевляют производство маневров; в общем уменьшают себестоимость перевозок.

Естественно является желание увеличить до позволяемых условиями устойчивости ширину и высоту вагонов. Однако, этому препятствуют сооружения, выстроенные по старому габариту приближения строений на существующей сети.

На вновь строящихся же железных дорогах возможно вводить большеобъемные вагоны только при условии обособленности обращения их от старой существующей сети, что вызывает большие затруднения по перегрузке грузов из большеобъемных специальных вагонов в нормальные вагоны сети. Узкоколейные железные дороги свободны от этого стеснения, почему при постройке таких дорог возможно применять габарит подвижного состава, построенный согласно теоретических выводов.

## Габарит приближения строений к пути.

При движении поезда части подвижного состава выходят из пределов очертания габарита подвижного состава по следующим причинам.

<sup>1</sup> По круговой кривой очерчены верхние части русских габаритов подвижного состава 1926 года для колеи в 750 и 1.000 мм.

а) Допускается некоторое поперечное передвижение кузова вследствие игры между подшипником и осевой шейкой дополнительно к таковой-же игре между осевой шейкой и буксой ( $g$ ).

б) Кузов может перемещаться в сторону от своей средней оси вследствие поперечного перемещения шкворня и люльки ( $w$ ).

в) Вследствие неравномерной погрузки и неравномерного прогиба рессор допускается наклон верхнего угла кузова не более, чем на 75 мм.

г) Вследствие допускаемых износов: бандажей до 35 мм, осевых шеек до 10 мм, подшипников до 10 мм, равномерного прогиба рессор до 50 мм, очертание частей, связанных с кузовом может понизиться в общей сумме на 105 мм, сравнительно с их положением во вновь изготовленном подвижном составе. (Указанные в настоящем пункте размеры износов и прогибов взяты из доклада Б. В. Сушинского XIX Совец. Съезду Тяги 1897 года).

д) Износ гребней по ширине до 22 мм увеличивает зазор между рельсами и гребнями колес на прямом пути до

$$1529^* - (1437^{**} + 2 \times 22) = 48 \text{ мм, а на закруглениях до}$$

$$1549 - (1437 + 2 \times 22) = 68 \text{ мм. Этот зазор позволяет подвижному составу в средней его части сдвинуться в сторону против}$$

среднего положения на прямых на  $CG' = \frac{48}{2} = 24 \text{ мм, а в крайних по длине частях подвижного состава, как видно из фиг. 4}$

на величину  $DD' = CG' \frac{L}{l}$ , каковая величина при  $L$  равном 2l

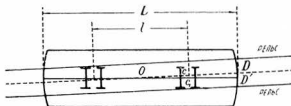
на прямом участке выразится в:  $DD' = 24 \frac{L}{l} = 48 \text{ мм, а на за-$

круглениях в:  $DD' = 34 \frac{L}{l} = 68 \text{ мм.}$

е) Кроме указанных причин, средняя ось подвижного состава может отходить от вертикальной оси пути в сторону и, кроме того, наклоняться на определенный от нее угол вследствие расположения подвижного состава по хорде кривой и поперечного наклона пути.

Все перечисленные причины, позволяющие подвижному составу на-

клоняться и отходить в сторону, разделяются на причины, зависящие: от подвижного состава ( $a, b, c, z$ ) и от пути ( $d$  и  $e$ ). Причины: ( $a, b, c, z, d$ ) могут встретиться, как на прямых, так и на закруглениях; причины ( $e$ ) и также ( $d$ )—на закруглениях.



Фиг. 4.

\* Размер колес на прямой с допуском 5 мм равняется 1529 мм.

\*\* Наименьшее допускаемое расстояние между бандажами колес.

Возможно определить по всем этим причинам суммарное наибольшее отклонение от нормального положения подвижного состава в самом невыгодном случае и поэтому суммарному отклонению с прибавкой еще постоянного запасного свободного пространства определить очертаие габарита приближения строений как для прямых, так и для кривых участков пути. При этом такое определение будет исходить из соображений только безопасного прохода подвижного состава по рельсовым путям без всякого риска задевания за смежные сооружения, предметы и подвижной состав, проходящий или стоящий на соседних путях. Однако, такое определение габарита приближения строений, одинаковое для прямых и закруглений, хотя и имеет место в некоторых западных государствах (Германия), было бы не совсем экономично для СССР.

В самом деле, кривых участков пути по рельсовой сети СССР, по данным на 1 января 1925 г., имеется около 25%, а прямых 75%. Кроме того, в большей части мостов с ездой по низу путь расположен на прямых участках пути. По этим соображениям, как общее правило, следует определять очертание габарита приближения строений для прямых участков пути, а для закруглений необходимо в нем делать соответствующие изменения. Только, в случае наличия на некоторых участках пути разбросанных кривых более двух третей от всего протяжения участка, еще возможно устанавливать как для прямых, так и для закруглений—один общий габарит приближения строений.

Таким образом, задачу о построении габарита приближения строений необходимо разделить на две части: на построение основного габарита приближения строений для прямых участков пути и на определение изменений элементов габарита для закруглений.

При построении габарита приближения строений к пути, кроме безопасного прохода подвижного состава, следует иметь в виду еще одно условие, а именно, чтобы пространство между габаритом подвижного состава и габаритом приближения строений давало возможность людям проходить вдоль поезда, в случаях его остановки на мостах и в тоннелях, а также, чтобы имелась возможность безопасно высунуть из окна или двери подвижного состава голову или руку за пределы габарита подвижного состава для наблюдения за путем или для показания сигнала. Последнее условие не относится к междупутьям на перегонах.

### Установление очертания габарита приближения строений на прямых участках пути.

В первую очередь следует определить боковое очертание габарита приближения строений от уровня головок рельсов до верха швеллера вагонов, т. е., примерно, до высоты в 1200 мм. До этой высоты имеют место колебания, перечисленные в пунктах: а, б, в и д.

Обозначив возможные боковые перемещения: от причины (а) через  $q$  мм; от причины (б) через  $w$  мм; от причины (в) через  $t$  мм и от причины (д) через  $\frac{\delta}{2}$  — будем иметь сдвигание нижней части подвижного состава в сторону в поперечных плоскостях тележек на:

$$\left( q + w + t + \frac{\delta}{2} \right).$$

При косом расположении подвижного состава, согласно фиг. 4, боковое передвижение концов подвижного состава еще увеличится в отношении  $\frac{L}{e}$ , т.-е. до величины:

$$\frac{L}{e} \left( q + w + t + \frac{\delta}{2} \right).$$

Для нормальной колеи обозначают:  $L$  — наибольшую длину кузова вагона в 24 м,  $e$  — наименьшее расстояние для того же вагона между осями тележек — 12 м;  $(q + w + t)$  может равняться 20 мм;  $\frac{\delta}{2}$  определено выше в 24 мм. Подставив все эти величины в предыдущее выражение, получим:

$$\frac{24}{12} (20 + 24) = 88 \text{ мм.}$$

Кроме того, допустим возможность односторонней просадки колеи или одностороннего поднятия ее от пучения на 10 мм. Тогда подвижной состав наклонится и отойдет от вертикального положения на высоте в 1200 мм в сторону на:

$$\frac{10 \times 1200}{1524} = 8 \text{ мм.}$$

Всего полное боковое отклонение подвижного состава от нормального его состояния на прямой выразится на высоте 1200 мм в:

$$\Delta_{1200} = \frac{24}{12} (20 + 24) + 8 = 96 \text{ мм, или округленно } 100 \text{ мм.}$$

Затем определим боковое отклонение верхнего угла кузова подвижного состава, примерно на высоте 4000 мм. Очевидно, он отклонится на ту же величину, что и на горизонте 1200 мм, с прибавлением наклона кузова от причины, указанной в пункте (е).

Влияние односторонней просадки пути выразится величиной:

$$\left| \frac{10}{1524} 4000 \right| = 26 \text{ мм.}$$

Влияние просадки рессоры и неравномерной нагрузки в 75 м.м.<sup>1</sup>

Все суммарное отклонение верхнего угла кузова подвижного состава выразится:

$$\Delta_{4000} = \left\{ \frac{L}{l} \left( q + w + t + \frac{\delta}{2} \right) + 26 + 75 \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{24}{12} (20 + 24) + 26 + 75 \right\} = 189 \text{ мм или с надбавкой } 200 \text{ мм.}$$

Можно бы, в целях вполне безопасного прохождения подвижного состава по прямым участкам, свободное пространство между габаритом подвижного состава и габаритом приближения строений, на основании предыдущих подсчетов, начиная от уровня головок рельсов до высоты в 1200 м.м. определить в  $\Delta_{1200} = 100$  м.м., а выше до верхнего угла кузова подвижного состава в  $\Delta_{4000} = 200$  м.м.

Однако, как было выше указано, необходимо, кроме безопасности движения подвижного состава, еще иметь в виду условие безопасного нахождения человека в свободном пространстве между двумя габаритами. Поэтому на высотах от 1200 м.м. до 3200 м.м., считая от головок рельсов, свободное пространство должно быть определено в 500—750 м.м.

Остается определить свободное пространство между верхними частями габаритов. В германском габарите оно равняется 150 м.м.; в габарите СССР—300 м.м. В последнее время это свободное пространство в германском габарите увеличено для возможности пропуска в этом пространстве рабочего провода при электрификации железных дорог, при чем наименьшая величина этого пространства определена в 450 м.м. В нижней части габарит приближения строений идет в горизонте головок рельсов за исключением пространства между путевыми рельсами, где он поднимается для возможности поднятия контр-рельсов тупых крестовин на 50 м.м.

Наконец, на высоте от 200 до 250 м.м. устраиваются низкие платформы, для которых в габарите приближения строений должен быть сделан соответствующий уступ.

Все размеры свободного пространства между габаритом приближения строений и габаритом подвижного состава исчислены в предположении, что сооружения сделаны из несгораемого материала. Для деревянных сооружений свободное пространство в верхней части габарит увеличивается до 1150 м.м.

Утвержденный для СССР габарит 1925 года построен на этих основаниях, с некоторыми отступлениями для сохранения связи его с габаритом 1893 года (показан на след. стр.).

Определенные свободные боковые пространства в 175 м.м. должны быть оставляемы как со стороны сооружений, так и со стороны

<sup>1</sup> Общее соглашение 1924 г. § 249.



соседних путей. На основании этого условия можно определить наименьшее расстояние между осями смежных путей на перегонах, а именно, это расстояние должно быть равно ширине габарита подвижного состава, сложенной с двойным свободным пространством:

$$D = [B + 2\Delta] = [B + 2 \times 200] = B + 400 \text{ мм.}$$

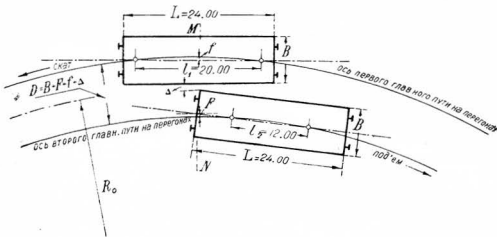
Откуда  $B = D - 400$ .

При принятом расстоянии между осями смежных путей по габариту 1925 года в 4100 мм, ширина габарита подвижного состава по корпусу может быть определена в  $4100 - 400 = 3700$  мм. Остаточное пространство в габарите подвижного состава 1925 года, а именно:  $3850 - 3700 = 150$  мм предназначается для сигналов.

## Расчет изменений размеров междупутий и элементов габарита приближения строений на закруглениях.

### Междупутья на кривых участках.

Расстояния между осями смежных путей на закруглениях должны увеличиваться в зависимости от радиуса закругления, как видно из фиг. 5, на сумму следующих величин:



Фиг. 5.

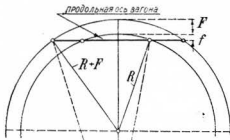
- а) на величину  $F$  выноса углов подвижного состава при следовании его по пути, расположенному с внутренней стороны кривой;
- б) на величину внутренней стрелки ( $f$ ) хорды, при движении подвижного состава по пути, расположенному с внешней стороны кривой;

в) кроме того, на величину ушрения в кривых:  $\frac{y}{2} \left( 1 + \frac{L}{l} \right)$ .

Таким образом на кривых участках пути полная величина добавки к расстоянию смежных путей на прямых выразится суммой:

$$\text{Добавка} = \left[ F + f + \frac{y}{2} \left( \frac{L+l}{l} \right) \right].$$

Величины  $f$  и  $F$  определяются по фиг. 6. Примем, что  $L$  обозначает длину кузова подвижного состава,  $l$  — расстояние между шкворнями тележек или между крайними неподвижными осями.



Фиг. 6.

Полухорда есть средняя пропорциональная величина между отрезками диаметра:  $\left( \frac{l}{2} \right)^2 =$

$$= (2R - f) \cdot f, \text{ откуда } f = \frac{(2R - f) \cdot f}{l^2} \text{ или приближенно:}$$

$$f = \frac{l^2}{8R}.$$

Точно также:

$$\left( \frac{L}{2} \right)^2 = [2(R + F) - (F + f)](F + f)$$

или приближенно

$$\left( \frac{L}{2} \right)^2 = 2R(F + f),$$

откуда

$$(F + f) = \frac{L^2}{8R}; \quad F = \frac{L^2}{8R} - f.$$

Для того, чтобы получить наименее выгодное решение, примем для определения:  $f = \frac{l_1^2}{8R}$  значение  $l_1 = 20$  м, а для  $F = \frac{L^2 - l_2^2}{8R}$  значение  $l_2 = 12$  м. Тогда получим при  $L = 24$  м:

$$f = \frac{l_1^2}{8R} = \frac{50}{R}; \quad F = \frac{L^2 - l_2^2}{8R} = \frac{54}{R}.$$

Из фигуры 5-ой видно, что в выражении  $f = \frac{50}{R}$  величина  $R = R_0 + \frac{D}{2}$ , а в выражении  $F = \frac{54}{R}$  величина  $R = R_0 - \frac{D}{2}$ . Подставив эти величины в оба выражения, получим:

$$f = \frac{50}{R_0 - \frac{D}{2}}; \quad F = \frac{54}{R_0 + \frac{D}{2}}.$$

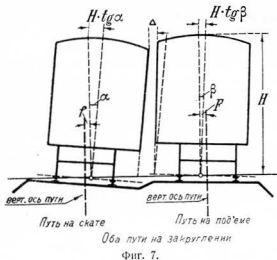
Таким образом полная добавка на закруглениях для междупутий выразится:

$$\begin{aligned} \text{Добавка} &= \left[ \frac{50 \times 10^3}{R_0 + \frac{D}{2}} + \frac{54 \times 10^3}{R_0 - \frac{D}{2}} + \frac{y}{2} \left( 1 + \frac{L}{l} \right) \right] \\ &= \left[ \frac{(104R_0 + 2D)10^3}{R_0^2 + \frac{D^2}{4}} + \frac{3}{2}y \right] \text{ мм,} \end{aligned}$$

или приближенно

$$= \left[ \frac{104 \times 10^3}{R_0} + \frac{3}{2}y \right] \text{ мм.}$$

В этом выражении обозначают:  $R_0$  — радиус закругления, считая такое по оси двухпутного земляного полотна;  $D$  — расстояние между осями путей;  $y$  — уширение колеи в закруглении против прямой.



При подсчете добавки не принимаются во внимание наклоны подвижного состава на закруглениях, если эти наклоны на обоих путях одинаковы. Если же наружная кривая по фиг. 7 расположена на скате, а внутренняя на подъеме, то к выражению добавки следует прибавить разницу между наклонами:  $H(\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta)$ . В этом выражении обозначают:  $\text{tg}\alpha$  — наклон пути наружной кривой;  $\text{tg}\beta$  — наклон пути на внутренней кривой. При чем  $\text{tg}\alpha > \text{tg}\beta$ .

В этом случае полная добавка на закруглениях для расстояния между осями смежных путей против такого же расстояния на прямых путей выразится в:

$$\text{Добавка} = \left[ \frac{104 \times 10^3}{R_0} + \frac{3}{2}y + H(\text{tg}\alpha - \text{tg}\beta) \right] \text{ мм.}$$

Добавка эта определена, исходя из условия, что длина кузова подвижного состава  $L = 24$  м; возвышение верхнего угла подвижного состава  $H$  может быть принято в 4000 мм над уровнем головок рельсов.

### Изменения расстояний от оси пути до сооружений на закруглениях.

Свободное пространство между габаритом приближения строений и габаритом подвижного состава на закруглениях, с внутренней стороны закругления должно быть увеличиваемо (фиг. 5) на:

- а) величину стрелки  $f$ ;
- б) на половину допускаемого уширения в кривой  $\left(\frac{y}{2}\right)$ ;
- в) на наклон подвижного состава, стоящего на закруглении вследствие повышения наружного рельса над внутренним.

При этом на высоте 1200 мм от головок рельсов расстояние от сооружения до оси пути увеличивается на величину:

$$\left(f + \frac{y}{2} + 1200 \operatorname{tg} \alpha\right).$$

На высоте 4000 мм, соответствующей горизонту верхнего угла подвижного состава, расстояние между вертикальной осью пути и сооружением увеличивается на величину:  $\left(f + \frac{y}{2} + 4000 \operatorname{tg} \alpha\right)$ . В этих выражениях  $\operatorname{tg} \alpha$  есть поперечный наклон пути в закруглениях.

Свободное пространство между габаритом приближения строений и габаритом подвижного состава на закруглениях, с внешней стороны закруглений, должно быть увеличиваемо на величину:

$$\left(F + \frac{L}{l} \frac{y}{2}\right) = F' + y$$

Однако принято устанавливать габарит приближения строений симметрично относительно вертикальной оси пути, почему разницы в изменениях расстояний от сооружений до вертикальной оси пути на закруглениях между внешней и внутренней сторонами не делается.

*И. Я. Манос.*

Проф. К. Н. Кашкин

УСЛОВИЯ  
ВЫГОДНОСТИ ВРЕМЕННЫХ  
СООРУЖЕНИЙ



## Условия выгодности временных сооружений.

Как известно, при постройке разного рода сооружений иногда из экономии постоянные сооружения заменяют более дешевыми, временными, откладывая на некоторый срок постройку постоянных сооружений (на срок существования временных). При этом уменьшается затрата в момент постройки, но зато через некоторый срок временная постройка приходит в полную негодность, так что деньги, на нее затраченные, нужно прибавить к стоимости будущего постоянного сооружения, заменяющего временное, или амортизировать временную постройку ежегодными отчислениями.

Для государства, сооружающего железнодорожную сеть, иногда бывает весьма важно именно в данный период уменьшать затраты на постройку этой сети, если вообще в это время трудно доставать деньги и приходится платить высокий процент по займам.

В другое время, наоборот, постоянные сооружения бывают выгоднее временных.

Чем временное сооружение дешевле постоянного, тем очевидно выгоднее может быть замена постоянного временным.

Пусть государство должно затратить на постоянное сооружение  $И$  рублей, а временное, заменяющее его, обойдется в  $В$  рублей и просуществует  $d$  лет.

Выгодность временного сооружения зависит от его стоимости и от срока существования.

Срок службы его мы обозначили через  $d$  лет.

Стоимость временного сооружения будем учитывать в виде соотношения со стоимостью постоянного, т.-е.  $И = C \times B$ , где  $И$  есть, по прежнему стоимость постоянного сооружения,  $В$ —временного а  $C$ —коэффициент большей единицы, так как мы можем говорить только о случаях, когда временное сооружение дешевле постоянного иначе оно являлось бы бессмыслицей.

При замене постоянного сооружения временным в распоряжении государства остается разница стоимости постоянного и временного сооружений, равная  $И - В$  рублей, которые государство может вложить в какое-либо государственное предприятие, являющееся доход-

ным, или уменьшить свою задолженность, по которой приходится платить высокий процент и т. д.

Так или иначе государство может на оставшуюся от постройки сумму  $II - B$  рублей получить некоторую прибыль, которую мы можем представить себе как бы в виде процента на капитал  $II - B$ .

Обозначив высоту этого процента  $a$  рублей на 100, мы будем иметь, что каждый рубль, сбереженный от постройки и помещенный в производительное государственное предприятие, обращается через год в сумму  $1 + \frac{a}{100}$  рублей.

Через  $\delta$  лет этот рубль вместе с прибылью обратится в  $\left(1 + \frac{a}{100}\right)^\delta$ , если считать по сложным процентам, и в  $\left(1 + \frac{a\delta}{100}\right)$ , если считать по простым.

Таким образом капитал  $II - B$ , временно сбереженный заменю постоянного сооружения временным, обратится через  $\delta$  лет или в:

$$A_1 = (II - B) \cdot \left(1 + \frac{a}{100}\right)^\delta$$

или в:

$$A_2 = (II - B) \cdot \left(1 + \frac{a\delta}{100}\right).$$

Если через  $\delta$  лет этот капитал  $A_1$  будет больше стоимости  $II$  постоянного сооружения, то значит наш капитал  $II$  увеличился, т. е. с финансовой точки зрения временное сооружение оказалось выгодным.

Наоборот, если через  $\delta$  лет капитал  $II - B$  не возрос до величины  $II$ , то с финансовой точки зрения операция была неудачной.

То же относительно  $A_2$ .

Вопрос, как должно исчислять проценты в данном случае, по закону простых или сложных процентов, нельзя считать окончательно установленным и потому мы сделаем исчисление для обоих случаев, из результатов видно будет, что при некоторых соотношениях величин  $C$ ,  $\delta$  и  $a$  разница получается не очень значительной.

Начнем с закона сложных процентов.

Условия выгодности постройки временного сооружения:

$$A_1 \geq II, \text{ т. е. } (II - B) \left(1 + \frac{a}{100}\right)^\delta \geq II.$$

Предельный случай будет:

$$(II - B) \left(1 + \frac{a}{100}\right)^\delta = II$$

Принимая, как сказано,  $II = CB$  имеем

$$B(C-1) \left(1 + \frac{a}{100}\right)^{\partial} = C \times B,$$

откуда

$$\left(1 + \frac{a}{100}\right)^{\partial} = \frac{C}{C-1} \dots \dots \dots (1).$$

Это и есть предел, после которого временное сооружение выгодно, при условии помещения сбережения на сложные проценты.

Для случая простых процентов имеем аналогично:

$$A_2 = (II - B) \left(1 + \frac{a}{100} \cdot \partial\right) = II,$$

или

$$B(C-1) \left(1 + \frac{a\partial}{100}\right) = CB,$$

откуда

$$1 + \frac{a\partial}{100} = \frac{C}{C-1} \dots \dots \dots (2).$$

Задаемся для величин  $a$  значениями от 4 до 12, как теоретически мыслимыми минимумом и максимумом в наших условиях, а для  $C$  берем семь величин 1,25, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 2,5 и 4,0, т.е. рассмотрим семь случаев, когда временное сооружение дешевле постоянного от  $1\frac{1}{4}$  до 4 раз.

Искомым будет  $\partial$ —число лет, которое должно существовать временное сооружение, чтобы быть выгодным.

Вычисляя для каждого из принятых семи величин  $C$  значение  $\frac{C}{C-1}$  получим соответственно:

$$\frac{C}{C-1} = 5,00, 3,00, 2,00, 1,67, 1,50, 1,40 \text{ и } 1,33.$$

Подставляя эти значения в ур-ня (1) и (2) находим значения  $\partial$ <sup>1</sup>, для сложных и для простых процентов.

Найденные значения  $\partial$  для обоих случаев будут отличаться друг от друга, и чтобы нагляднее представить себе разницу величин  $\partial$  поместим их в одну сводную таблицу I, в которой число лет  $\partial$  даны в виде дробей, где числитель дает  $\partial$  для случая сложных процентов, а знаменатель для простых.

<sup>1</sup> Для облегчения вычислений значения  $\partial$  по сложным процентам—по ур-ню (1) можно воспользоваться каким-нибудь справочником. Напр. Ефимовича, (см. стр. 47, часть I, изд. 1909 г.).

ТАБЛИЦА I.

Число лет  $d$ 

| $C$<br>$1 + \frac{a}{100}$ | 1,25   | 1,50  | 2,00  | 2,50    | 3,00    | 3,50  | 4,00  |
|----------------------------|--------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|
| 1,04                       | 41/100 | 28/50 | 18/25 | 13/17   | 10,5/13 | 9/10  | 7/8   |
| 1,05                       | 33/80  | 23/40 | 15/20 | 10,5/13 | 9/10    | 7/8   | 6/7   |
| 1,06                       | 28/67  | 19/33 | 12/17 | 9/11    | 7/9     | 6/7   | 5/6   |
| 1,07                       | 24/57  | 16/29 | 11/14 | 8/10    | 6/7     | 5/6   | 4/5   |
| 1,08                       | 21/50  | 14/25 | 9/13  | 7/8     | 5,5/6   | 4,5/5 | 3,5/4 |
| 1,09                       | 19/44  | 13/22 | 8/11  | 6/8     | 5/6     | 4,5/5 | 3,2/4 |
| 1,10                       | 17/40  | 12/20 | 7/10  | 5,5/7   | 4,5/5   | 3,5/4 | 3,0/3 |
| 1,11                       | 15/36  | 11/18 | 7/9   | 5/6     | 4,5     | 3,2/4 | 2,8/3 |
| 1,12                       | 14/33  | 10/17 | 6/8   | 4,5/6   | 3,5/4   | 3,3/3 | 2,7/3 |

Вопрос о том, принимать ли закон простых процентов или сложных—есть вопрос, как мы уже указали, довольно спорный.

Обычный тип временных сооружений (деревянные мосты и пр.) служат 7—8 лет в средней полосе России и 10—12 лет в северной.

Берем случай простых процентов.

Для временных сооружений, служащих не менее 10 лет, получим, что при  $a = 4\%$  временные сооружения экономически имеют смысл только при  $C = 3,5$  и выше.

Для  $a = 10\%$  временные сооружения уже могут быть выгодны при  $C = 2,00$ , т.-е. когда временное сооружение вдвое дешевле постоянного.

Чем больше  $C$  и  $a$ , тем менее отличаются друг от друга сроки, найденные по законам простых и сложных процентов.

Так, если мы имеем  $a = 8\%$  и  $C = 3,5$ , то имеем по таблице I срок службы 4,5 года для случая сложных процентов и 5,0 для простых.

Вообще для срока 7—10 лет службы разница в простых и сложных процентах невелика, если  $C > 2$ .

Для запаса лучше во всех подобных случаях вести учет по закону простых процентов.

Рассматривая таблицу мы видим что если государство может добывать капитал из  $4\%$ , а временное сооружение даже вчетверо дешевле постоянного, то при 7-летнем сроке службы временного сооружения оно еще не выгодно, и только, если оно будет служить 8 и более лет, оно окажется экономически целесообразным.

Поэтому в странах, с невысоким процентом, не превышающим 4, временные сооружения невыгодны, особенно если срок службы их невелик.

Наоборот, у нас, где денег мало, дерево дешевле и благодаря длинной зиме период гниения сравнительно короток, вполне целесообразно широкое применение временных деревянных сооружений.

Поскольку срок службы временных сооружений имеет серьезное значение, важно заботиться о продлении этого срока—путем выбора пород и сортов дерева, наиболее сопротивляющихся гниению или же путем пропитки или покрытия дерева антисептическими составами вроде карболшнеума и т. п.

Обильная и тщательная осмолка частей сооружения, засыпаемых землей, также необходима для продления их службы.

В труде инженера А. Н. Никитина „Постройка и эксплуатация узкоколейных железных дорог“, СПб. 1909 г. на стр. 61—62 говорится о деревянных трубах разных типов, устроенных под полотном узкоколейных линий и указывается, что более чем 12-летнее существование их на Свенцянском подъездном пути выяснило их полную целесообразность, при чем для поддержания их в исправности требовался крайне незначительный ремонт.

В труде американского профессора В. Л. Вебба „Railroad Construction“ приводятся чертежи *типовых* деревянных труб прямоугольного сечения принятых на дороге Чикаго—Мильюки Сент-Поль. То же подтверждает профессор С. Д. Карейша в своем труде „Северо-Американские железные дороги“.

Так как ежегодный ремонт временного сооружения обычно обходится дороже ремонта постоянного, то, казалось бы, надо разницу обоих ремонтов исчислять за  $\vartheta$  лет и вычесть из капитала  $A_1$  (или  $A_2$ ), найденного выше. Обычно годовой ремонт деревянного моста принимается равным 2—3 процента его стоимости. Обозначая величину последней через  $B$  (как стоимость временного сооружения по вышепозложенному) получим стоимость годового ремонта от  $0,02 \cdot B$  до  $0,03 \cdot B$ .

В долях стоимости постоянного сооружения  $II$ , которое заменяется временным, будучи в  $C$  раз дороже последнего, это будет равно от  $\frac{0,02 \cdot II}{C}$  до  $\frac{0,03 \cdot II}{C}$  в год.

При значительных величинах  $C$  это составляет около одного процента от  $II$ . Но с другой стороны и „постоянное“ сооружение не вечно.

Правда, мы знаем много примеров каменных сооружений, существующих сотни лет, но металлические фермы мостов приходится менять, если не из-за их ветхости, то из-за изменения норм нагрузки.

Поэтому строго говоря, при расчетах сравнительной выгоды постоянных и временных сооружений, следует отчислять ежегодный процент на ремонт и амортизацию постоянного сооружения. Повиди-

тому на это достаточно положить около 1% в год от полной стоимости сооружения, имея в виду долговечность каменных его частей.

Таким образом, в вышеприведенный основной расчет нужно ввести две поправки: одну на ремонт временных сооружений, уменьшающую их выгодность и другую—на ремонт и амортизацию постоянных сооружений, делающую в свою очередь их менее выгодными.

Обе поправки перетягивают чашки весов в разные стороны, и приблизительно можно считать их уравновешивающими друг друга.

По самому существу своему сравнение выгодности не может быть очень точным, потому что изменение предположительного срока службы временного сооружения на 1—2 года сильнейшим образом влияет на выводы, как то видно из таблицы I. А поэтому с достаточной степенью точности мы можем не принимать в расчет ни амортизации постоянного сооружения за срок службы временного, ни стоимости ежегодного ремонта этого последнего, а пользоваться прямо выводами таблицы I.

Что касается практических сроков службы временных сооружений, то пример деревянных труб Свенцянского пути указан выше.

Некоторые деревянные мосты Сибирской ж. д. простояли от 10 до 15 лет до переустройства дороги. На Мурманской ж. д., построенной исключительно с деревянными сооружениями, громадное большинство последних ныне дожило до 12-го года своей службы и будут служить еще некоторый срок.

Надобно сказать, что при невероятной спешке этой постройки иногда не было времени выбрать хороший лес и не только не всегда применялась требуемая осмолка засыпаемых частей, но даже некоторые деревянные трубы были сделаны из мелкого елового леса без снятия с него коры. Конечно такие трубы загнивали и разрушались сравнительно, скоро; но это не есть пример, сколько-нибудь доказательный.

*Вообще же при настоятельной нужде в экономии средств нам следует обратить самое серьезное внимание на временные сооружения, особенно в северных частях нашей Республики.*

Конечно нужно учитывать не одну финансовую сторону вопроса, а и степень обеспеченности непрерывности движения при временных сооружениях и возможные последствия их случайного разрушения пожаром, наводнением, ледоходом или каким-либо иным явлением природы.

Поэтому, например, вопрос о замене крупных постоянных мостов деревянными должен быть обсужден всесторонне, учитывая и необходимый ремонт временного моста, и надзор за ним, а также последствия перерыва движения в случае его разрушения или серьезного повреждения.

В общем же при настоящем положении дел во многих случаях временные сооружения окажутся вполне целесообразными и экономически выгодными.

Профессор К. Н. Кашкин.

Проф. Д. И. Юскевич

**ВЫБОР**  
**ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ**  
**ПРЕДЕЛЬНОГО ПОДЪЕМА,**  
**СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ ПЕРЕГОНА**  
**И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ**



## Выбор при электрической тяге предельного подъема, средней длины перегона и пропускной способности.

При проектировании однопутной железной дороги с электрической тягой, к которой и относятся выводы данной статьи, естественно, возникает вопрос о наилучшем использовании этого рода тяги в смысле экономических результатов. Одним из важнейших факторов, влияющих на экономические результаты эксплуатации дороги, является правильный выбор наибольшего подъема. С одной стороны, увеличение предельного подъема уменьшает строительные расходы, с другой—увеличивает тяговой инвентарь, увеличивает размер электрического оборудования центральной станции и подстанций, увеличивает расход на бригады и отчасти расход электрической энергии. Наиболее выгодным предельным подъемом будет такой, при котором сумма годовых отчислений на затраченный капитал, амортизацию устройств и оборудования (косвенных расходов) и расходов на бригады и электрическую энергию (прямых расходов) является наименьшей. Так как часть этих расходов зависит от коммерческой скорости поезда между деповыми станциями  $V_0$ , то для каждой данной  $V_0$  наименьшая сумма годовых расходов будет отвечать определенному значению предельного подъема  $i$ . Эта зависимость может быть выражена кривой. Имея затем в виду, что с увеличением  $i$  увеличивается при заданном грузообороте  $A$  число пар поездов в сутки  $n$ , можно перейти от зависимости между  $V_0$  и  $i$  к зависимости между  $V_0$  и  $n$ , вытекающей из экономических соображений.

Но между теми же данными, т.-е.  $V_0$  и  $n$ , существует и другая зависимость, вытекающая из влияния коммерческой участковой скорости  $V_0$  на наибольшую пропускную способность дороги. Выбирая  $V_0$  и  $n$  так, чтобы удовлетворялись и та и другая зависимость, мы получаем одновременно и величину предельного подъема  $i$  и среднюю длину перегона  $l$ .

Таким образом, наша задача сводится к установлению обеих вышеуказанных зависимостей. Начнем со второй, т.-е. с влияния участковой коммерческой скорости  $V_0$  на пропускную способность дороги  $n$ .

Названная коммерческая скорость может быть определена, если общий пробег  $n$  товарных поездов одного направления по участку  $L$  км

мы разделим на сумму времени нахождения этих поездов на этом участке, т.е.  $V_0 = \frac{nL}{\Sigma T}$ . Время нахождения поездов на участке распадается на время нахождения в пути, т.е. в движении, на простои по станциям, обусловливаемые техническими потребностями, и на простои непроизводительные, вытекающие из условий движения поездов.

Время прохождения поездом участка  $L$ , не считая времени на разгон и замедление при отходе и подходе поезда к станциям, определяется, если обозначить через  $V_2$  км/час. среднюю перегонную скорость без разгонов и замедлений, в  $\frac{L}{V_2}$ , а для  $n$  поездов —  $\frac{nL}{V_2}$ . Полагая на разгон или замедление  $r$  минут или  $\frac{r}{60}$  часов и обозначая среднюю длину перегона через  $l$  км, общее время на разгон и замедление  $n$  поездов на участке  $L$  выразится в  $\frac{n2r}{60} \cdot \frac{L}{l}$  час.

Простой поездов на промежуточных станциях по техническим надобностям складывается из простоя для получения разрешения пути и для технического осмотра вагонов. Обозначая через  $p$  мин. время, потребное на соглашение между станциями о разрешении пути, этот простой для  $n$  поездов выразится  $\frac{np}{60} \left( \frac{L}{l} - 1 \right)$  час.

Простой для осмотра вагонов при числе станций на участке  $L$ , на которых производится указанный осмотр,  $\varepsilon L$  и времени простоя  $\frac{t}{60}$  час, определится в  $\frac{n\varepsilon Lt}{60}$  час.

Непроизводительный простой поездов по станциям зависит от неравномерности длины смежных перегонов и поэтому неравномерности занятия перегонов парой поездов, далее — от обгонов поездов меньшего старшинства поездами большего старшинства и, наконец, от скрещений.

Если  $S$  мин. представляет собой разность времени занятия смежных перегонов парой поездов, отнесенную на поезд, то этот простой для  $n$  товарных поездов одного направления составит  $n \frac{S}{60} \left( \frac{L}{l} - 1 \right)$  час.

При учете времени простоя товарных поездов при обгонах их поездами высшего старшинства для упрощения задачи примем во внимание лишь обгон товарных поездов пассажирскими. При нагоне пассажирским поездом товарного время простоя товарного поезда может колебаться между следующими пределами. Наименьший простой будет иметь место, когда товарный и пассажирский поезда прибывают на смежные станции одновременно. Обозначая через  $V_1$  км/час. среднюю техническую перегонную скорость товарного поезда, включая разгон и замедление и принимая для пассажирского поезда эту ско-

рость равной  $2V_1$ , простой в этом случае определится в  $\frac{l}{2V_1}$  час. Наибольший простой получается для случая, когда товарный и пассажирский поезда одного направления прибывают на станции, разделенные двумя перегонами, и определяется в  $\frac{l}{V_1}$ . В среднем, следовательно, необходимо принять  $\frac{3}{4} \cdot \frac{l}{V_1}$ . По проходе пассажирского поезда товарный простаивает на станции пока пассажирский не прибудет на следующую станцию, т.-е. еще  $\frac{l}{2V_1}$  час. Общий простой товарного поезда при обгоне пассажирским составит, следовательно  $\frac{5}{4} \cdot \frac{l}{V_1}$ .

Число обгонов одного товарного поезда пассажирскими определяется из следующих соображений. Время, которое товарный поезд затрачивает на проход участка  $L$  с участковой коммерческой скоростью  $V_0$ , выражается в  $\frac{L}{V_0}$  часов. Вслед за вышедшим на участок товарным поездом отправляются пассажирские поезда с промежутками времени, в среднем, через  $\frac{24}{k}$  часов, где  $k$  — суточное число пассажирских поездов одного направления. Но не все эти поезда успеют догнать упомянутый товарный поезд. Если принять для пассажирского поезда его участковую коммерческую скорость равной  $2V_0$ , то пассажирские поезда, вступающие на участок в тот момент, когда товарный находится на середине этого участка, этого поезда уже не нагонят, так как последний достигнет конца участка через  $\frac{L}{2V_0}$  часов, т.-е. через такой промежуток времени, который потребуется для прохода пассажирским поездом всего участка. Таким образом, обгон товарного поезда будет осуществлен лишь теми пассажирскими поездами которые вступят на участок за время прохода товарным поездом от начала участка до его середины, т.-е.  $\frac{L}{2V_0}$ , и число обгонов выразится в  $\frac{L}{2V_0} : \frac{24}{k} = \frac{kL}{48V_0}$ .

В это выражение нужно ввести поправочный коэффициент  $\delta$ , учитывающий то обстоятельство, что непосредственно перед выходом с распорядительной станции пассажирского поезда товарные поезда не отправляются. На основании обследования исполненных графиков движения с паровой тягой этот коэффициент составляет  $\delta = 0,75$ . Для электрической он повышается до  $\delta = 0,88$  ввиду большей надежности прохода товарным поездом примыкающего к распорядительной станции перегона в предвиденный графиком промежуток времени. Общий

простой одного товарного поезда при проходе по участку вследствие обгонов пассажирскими поездами составит:

$$\frac{5}{4} \cdot \frac{l}{V_1} \cdot \frac{8kL}{48V_0} = \frac{5 \cdot 0,88 kL}{4 \cdot 48 \cdot V_0 V_1} = 1,1 \cdot \frac{kL}{V_0 V_1},$$

а в товарных поездах:  $\frac{1,1 nkL}{48 V_0 V_1}$ .

Скращение пассажирских поездов на промежуточных станциях также оказывает влияние на простой товарных поездов, при чем простой товарного поезда на станции, соседней с местом скрещения пассажирских поездов, обуславливается временем, необходимым для прохода пассажирского поезда до места скрещения, временем, потребным для скрещения пассажирских поездов, и временем для прохода встречного пассажирского поезда от места скрещения до рассматриваемой станции, что в общем составляет не менее  $\frac{3}{4}$  часа при паровой тяге и  $\frac{1}{2}$  часа—при электрической. Каждое такое скрещение вызывает задержку товарного поезда каждого направления, в среднем, на  $\frac{1}{2}$  часа, а всех товарных поездов одного направления  $\frac{1}{2} \times$  на число упомянутых скрещений, имеющих место на участке в течение суток. Так как относительная скорость движущихся навстречу с одинаковой скоростью поездов в два раза больше абсолютной их скорости, то в течение суток каждый поезд одного направления встретится со всеми поездами другого направления по два раза, а всего число скрещений за сутки составит  $2k^2$ , где  $k$ —число пар пассажирских поездов. Это число падает на длину линии, отвечающую суточному пробегу пассажирского поезда, который при электрической тяге можно принять, в среднем, 1.200 км. На участок же длиной  $L$  таких скрещений будет  $\frac{2k^2 L}{1200}$ ; а время простоя всех товарных, обусловленного этими скрещениями,  $\frac{1}{2} \cdot \frac{2k^2 L}{1200} = \frac{k^2 L}{1200}$ .

Весьма существенное влияние на простой поездов по станциям оказывает скрещение товарных поездов с товарными. Все попытки осуществить на русских однопутных железных дорогах, работающих в пределе заполнения пропускной способности, движение товарных поездов по графику—не увенчались успехом, так как, в случае задержки поезда на какой-либо из промежуточных станций из-за целого ряда случайных причин, например, отцепка вагона по горению буре или другой неисправности, влечет за собой нарушение графика и дальнейшее движение поездов происходит в зависимости от того или иного расположения поездов на участке. В таких условиях скрещение товарного поезда с товарным может иметь место и при одновременном подходе обоих поездов к станции скрещения, что является наимыгоднейшим случаем, но может случиться, что встречные поезда подходят одновременно к двум смежным станциям и это будет наихудшим слу-

чаем, так как одному из поездов придется ожидать пока встречный поезд пройдет весь перегон, т.е.  $\frac{l}{v_1}$  час. Поэтому при определении этого рода простоев необходимо исходить при паровой тяге из среднего случая, т.е. принять в среднем время простоя в  $\frac{l}{2v_1}$ . При электрической тяге, благодаря обеспеченности прохода поездом перегона в заданное время и возможности нагона опозданий, этот простой будет значительно меньше, чем при паровой, и не выше 0,7 такового, т.е.  $\frac{0,7l}{2v_1}$ .

Число таких скрещений, которое будет иметь один товарный поезд при проходе по участку  $L$ , составляется из скрещений с встречными товарными поездами, находящимися уже на участке в момент вступления упомянутого поезда на названный участок, и поездами, вступающими на таковой за время движения поезда по участку. Время нахождения поезда на участке  $L$  выражается  $\frac{L}{v_0}$  часами, а так как при  $n$  парах поездов в сутки поезда вступают на участок в среднем через  $\frac{24}{n}$  час., то число одновременно находящихся на участке поездов выразится в  $\frac{L}{v_0} : \frac{24}{n} = \frac{nL}{24v_0}$ . Столько же поездов войдет на участок во время движения по нему поезда. Следовательно, общее число скрещений определится в  $\frac{2nL}{24v_0}$ , общий простой одного поезда, вызванный этим скрещением,  $\frac{0,7l}{2v_1} \cdot \frac{2nL}{24v_0}$ , а  $n$  поездов:

$$n \cdot \frac{0,7n \cdot Ll}{24v_0 v_1} \text{ часов.}$$

Простой товарного поезда при скрещении с пассажирскими определяется подобным же образом, а именно: число находящихся на участке пассажирских поездов  $\frac{L}{2v_0} : \frac{24}{k} = \frac{kL}{48v_0}$ , число пассажирских поездов, вступающих на участок за время движения по нему товарного поезда,  $\frac{L}{v_0} : \frac{24}{k} = \frac{kL}{24v_0}$ , а всего число скрещений  $\frac{3kL}{48v_0}$ . Время простоя товарного поезда при скрещении с пассажирским в два раза меньше, нежели с товарным, благодаря большей в два раза перегонной скорости пассажирского поезда по сравнению с товарным, и, следовательно, может быть принята в  $\frac{l}{4v_1}$  часов для паровой тяги и  $\frac{0,7l}{4v_1}$  для электрической. Таким образом, общий простой  $n$  товарных поездов при скрещении их на участке с пассажирскими составит:

$$\frac{0,7 \cdot l}{4v_1} \cdot \frac{3kL}{48v_0} \cdot n = \frac{3}{8} \cdot \frac{0,7k \cdot nLl}{24 \cdot v_0 v_1}.$$

Кроме простоев, обусловленных вышеприведенными причинами, на промежуточных станциях имеет место целый ряд непредвиденных задержек поездов, как, например, из-за отцепки вагонов по их технической неисправности, мелкого ремонта подвижного состава и проч. Число таких задержек прямо пропорционально числу поездов, обрабатываемых по участку в сутки, т.-е.  $2n$ . Каждая задержка в свою очередь отражается на всех поездах обоих направлений, находящихся в это время на участке, т.-е. на  $2 \frac{nL}{24v_0}$ , а общий простой поездов, вызываемый этими задержками, будет пропорционален  $\frac{4n^2L}{24v_0}$ .

Если обозначать через  $\alpha$  коэффициент пропорциональности, то названный добавочный простой выразится в  $\alpha \frac{n^2L}{v_0}$  часов. На основании обследования целого ряда графиков исполненного движения на однопутных русских дорогах за период времени 1911—1914 г.г., коэффициент  $\alpha$  определился для паровой тяги в 0,007. Для электрической он составит не более  $\alpha = 0,004$ .

Введя все вышеуказанные простои в формулу коммерческой участковой скорости, имеем:

$$v_0 = \frac{Ln}{\frac{nL}{v_2} + \frac{2nr}{60} \cdot \frac{L}{l} + \frac{np}{60} \left( \frac{L}{l} - 1 \right) + \frac{nzLt}{60} + \frac{ns}{60} \left( \frac{L}{l} - 1 \right) + \frac{Ln}{Ln} + \frac{1,1nkL}{48v_0v_1} + \frac{Lk^2}{1200} + 0,7 \left( n + \frac{3}{8}k \right) \frac{nL}{24v_0v_1} + \frac{\alpha n^2L}{v_0}$$

Решаем это уравнение относительно  $v_0$ :

$$v_0 = \frac{Ln - \frac{1,1nkL}{48v_1} - 0,7 \left( n + \frac{3}{8}k \right) \frac{nL}{24v_1} - \alpha n^2L}{nL \left( \frac{1}{v_1} + \frac{(p+s+2r)}{60l} - \frac{p+s}{60L} + \frac{\epsilon t}{60} \right) + \frac{Lk^2}{1200}}$$

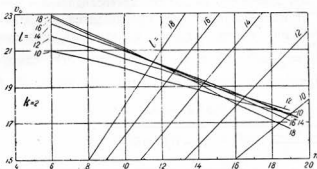
Сокращаем по  $Ln$  и пренебрегаем членом  $\frac{p+s}{60L}$ , ввиду его незначительности:

$$v_0 = \frac{1 - \frac{l}{24v_1} (0,7n + 0,81k) - \alpha n}{\frac{1}{v_2} + \frac{p+s+2r}{60l} + \frac{\epsilon t}{60} + \frac{k^2}{1200n}}$$

Полагая, что при электрической тяге движение поездов будет производиться по жезлам, время на соглашение между станциями  $p$  выразится в 3 мин. Время, потребное на разгон и на замедление, приходящееся на один перегон, при электрической тяге составляет  $2r = 3$  мин. Время простоя на станции из-за неравномерности занятия поездами



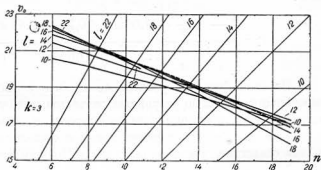
В этой формуле при паровой тяге при  $k$  должен стоять множитель 1,5, учитывающий влияние пассажирских поездов на уменьшение пропускной способности дороги в отношении товарных поездов. Совместное решение уравнений 1 и 2 дает ответ, какова будет фактическая пропускная способность дороги при различных длинах перегонов  $l$  и различном числе  $k$  пассажирских поездов.



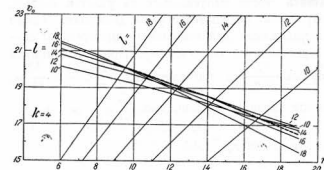
Фиг. 1.

На фиг. 1—3 приведено графическое решение названных уравнений для  $k=2, 3$  и 4 и при перегонной скорости  $v_2=38$  км/ч.

Эта скорость получена, исходя из минимальной скорости на предельном подъеме и максимальной скорости на предельном уклоне. Первая определяется экономически из сопоставления годовых расходов, зависящих от этой скорости, и, как показывает ряд подсчетов для различных однопутных линий, близка к 25—26 км/ч. Вторая ограничивается по торможению и составляет около 36 км/ч. На площадке скорость по торможению ограничивается в 45 км/ч.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Таким образом, средняя скорость на подъемах составляет, примерно,  $\frac{25 + 45}{2} = 35$  км/ч, на уклонах  $\frac{36 + 45}{2} = 40,5$  км/ч.

Откуда

$$v_2 = \frac{40,5 + 35}{2} = \approx 38 \text{ км/ч.}$$

Пунктирные кривые, полученные путем соединения точек пересечения кривых по уравнению 1 и 2 для соответствующих  $l$ , представляют собою зависимость между фактической пропускной способностью  $n$  и участковой коммерческой скоростью  $v_0 = f_1(n)$ .

Переходим теперь к выяснению зависимости между теми же величинами  $n$  и  $v_0$ , обусловленной экономическими соображениями, связанными с выбором предельного подъема.

К косвенным расходам, находящимся в той или иной зависимости от предельного подъема, относятся: 1) проценты на капитал, затраченный на приобретение электровозов, и годовые отчисления на их амортизацию, 2) проценты на капитал, затраченный на оборудование центральной электрической станции, и отчисления на амортизацию, 3) тоже по отношению к подстанциям и 4) проценты на капитал и амортизацию земляного полотна, верхнего строения и искусственных сооружений дороги.

К прямым расходам, зависящим от предельного подъема, принадлежат: 1) стоимость ремонта электровозов, 2) расходы на кондукторские и электровозные бригады, 3) ремонт оборудования центральной станции, 4) ремонт подстанций и 5) стоимость электрической энергии, расходуемой на тягу поездов.

В такой последовательности мы и рассмотрим отдельные категории расходов, отступив от этого порядка лишь в отношении п.п. 3 и 4 прямых расходов, в виду того, что эти расходы выражаются в процентном отношении от стоимости того и другого оборудования и поэтому их удобнее учесть одновременно с процентами на капитал и процентами на амортизацию названного оборудования. Для удобства сравнения вышеупомянутых расходов будем их относить на 1 км воздушной линии, т.е. к 1 км длины дороги, измеренной по кратчайшему направлению между конечными пунктами.

**1. Расходы, связанные с приобретением тягового инвентаря, т.е. электровозов.** Если обозначить эти расходы через  $B_0$ , число инвентарных электровозов  $K_0$ , стоимость одного электровоза  $C_0$  руб., коэффициент годовых отчислений  $\Sigma \frac{\delta}{100}$ , действительную длину дороги между двумя пунктами  $L$ , длину воздушной линии между теми же пунктами  $L_0$ , то:

$$B_0 = K_0 C_0 \frac{\Sigma \delta}{100} \cdot \frac{1}{L_0} \text{ руб. на км.}$$

Принимая во внимание, что, на основании данных заграничной практики, число электровозов, находящихся одновременно в ремонте, не превышает 10% от числа  $K_{0p}$  рабочих электровозов, принимаем, что  $K_0 = 1,1 K_{0p}$ .

Число рабочих электровозов определяется по времени их оборота. Последнее же составляется из времени нахождения в пути с поездами туда и обратно, т.е.  $\frac{2L}{v_0}$  час. и времени простоя в коренном и обратном депо —  $t$  час. Таким образом, от момента выхода данного электровоза с распорядительной станции с товарным поездом данного направления до момента выхода того же электровоза с той же станции с следующим поездом того же направления проходит  $\frac{2L}{v_0} + t$  часов. За этот промежуток времени с названной распорядительной станции отправляются в том же направлении поезда через промежутки в  $\frac{24}{n}$  часов. Таких поездов должно быть отправлено:

$$\left(\frac{2L}{v_0} + t\right) : \frac{24}{n} = \frac{n}{24} \left(\frac{2L}{v_0} + t\right),$$

которые и требуют такого же числа рабочих электровозов, т.е.

$$K_{эп} = \frac{n}{24} \left(\frac{2L}{v_0} + t\right), \text{ а } K_s = 1,1 \frac{n}{24} \left(\frac{2L}{v_0} + t\right).$$

Время простоев в депо может быть выражено в функции от времени нахождения электровоза под поездом  $t = \vartheta \frac{L}{v_0}$ , где  $\vartheta$  на основании данных заграничной практики, может быть принято равным 0,4.

Между длинами  $L$  и  $L_0$  может быть установлено соотношение из тех соображений, что чем меньше предельный подъем  $i$ , тем действительная длина  $L$  дороги между двумя пунктами больше расстояния между этими пунктами по воздушной линии  $L_0$ . Это соотношение может быть выражено так:

$$L = L_0 \left(1 + \alpha_x \frac{i_x}{i}\right),$$

где  $\alpha_x$  коэффициент удлинения дороги на 1 км при данном предельном подъеме  $i_x$ . Обследование ряда русских дорог равнинного характера с  $i_x = 8$  дают значения для  $\alpha_x = 0,2$ . Пользуясь этими данными, приведем упомянутое выражение к виду:

$$L = L_0 \left(1 + 0,2 \frac{8}{i}\right) = L_0 \left(1 + \frac{1,6}{i}\right).$$

Выражение для  $K_s$  примет соответственно следующий вид:

$$K_s = \frac{1,1}{24} \cdot n \left[ \frac{2L_0}{v_0} \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) + \frac{0,4 L_0}{v_0} \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) \right] = 0,11 \frac{n L_0}{v_0} \left(1 + \frac{1,6}{i}\right).$$

Число поездов одного направления  $n$  определяется следующим образом. Если обозначить грузовой поток в груженом направлении через  $T$ , в тоннах, неравномерность следования грузов по месяцам  $\gamma$ , так что  $\gamma T$ , представляет собою количество тонн груза, подлежащих

перевозке в месяц наибольшего движения, нагрузку груженого вагона —  $p_i$ , состав товарного поезда  $N$  вагонов, то  $\frac{\gamma T_i}{30 p_i}$  представляет собой число вагонов, подлежащих перевозке в груженом направлении в среднем за сутки в месяц наибольшего движения. При  $N$  вагонов в поезде это составит  $\frac{\gamma T_i}{30 p_i N}$  поездов. Так как в среднем в сутки за 7—10-дневный период движения, движение всегда выше процентов на 20% против средней суточной нормы за месяц наибольшего движения, то наибольшая потребная пропускная способность дороги при заданном грузообороте  $T_i$  выразится в  $n = \frac{1,2 \gamma T_i}{30 p_i N}$  поездов одного направления или  $n$  пар поездов при парном графике.

$$K_p = 0,11 \frac{L_0}{v_0} \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) \cdot \frac{1,2 \gamma T_i}{30 p_i N} = \frac{0,0044 T_i \gamma L_0 \left(1 + \frac{1,6}{i}\right)}{v_0 p_i N}.$$

Состав товарного поезда определяется по допустимой силе тяги на крюке  $F$ , обусловливаемой вагонной стяжкой, и сопротивлению движению поезда на предельном подъеме. Принимая для определения сопротивления движению товарного поезда формулу Балдина:

$$W = 1,5 + \frac{v_i}{20} + i,$$

дающую  $W$  кг на тонну, тару товарного двухосного вагона в 7,5 т имеем:

$$N = \frac{F}{(p_i + 7,5) \left(1,5 + \frac{v_i}{20} + i\right)}$$

$$K_p = \frac{0,0044 T_i \gamma L_0 (p_i + 7,5) \left(1,5 + \frac{v_i}{20} + i\right) \left(1 + \frac{1,6}{i}\right)}{v_0 p_i F}.$$

Стоимость электровоза может быть учтена, исходя из средней довоенной цены в 1500 руб. за тонну веса электровоза. Вес же электровоза определяется его мощностью, при чем для более новых типов электровозов зависимость между их мощностью и весом выражается в 18 НР на 1 тонну. Обозначая вес электровоза через  $Q$ , и его мощность через  $P$ , получаем для его стоимости выражение:

$$C_p = 1500 Q, \quad Q = 1500 \frac{P}{18} \text{ руб.}$$

В свою очередь

$$P = \frac{F_k v_i}{3,6 \cdot 75 \cdot 0,94},$$

где  $F_k$ —сила тяги, развиваемая электровозом на ободу колеса,  $v_i$ —скорость км/ч. на предельном подъеме,  $1/3,6$  переходный множитель для скорости от км/ч. к м/сек.,  $0,94$ —коэффициент полезного действия зубчато-рычажной передачи. Так как  $F_k$  составляет в среднем около  $1,07 F$ , то:

$$P = \frac{1,07 F v_i}{270 \cdot 0,94} = 0,0042 F v_i$$

$$C_p = \frac{1500}{18} \cdot 0,0042 F v_i = 0,35 F v_i \text{ руб.}$$

Годовые отчисления  $\frac{\sum \delta}{100}$  состояются из процентов на затраченный капитал, учитывая реализацию такового в  $\delta_k = 4,4\%$ , процентов на погашение капитала  $\delta_n = 0,7$  и процентов на возобновление (амортизацию) электровозов  $\delta_a$ . Последнее отчисление зависит от срока службы электровозов, который может быть принят в 20 лет, и тогда  $\delta_a$  по сложным процентам определится в  $\delta_a = 3,4\%$ .

$$\sum \frac{\delta}{100} = 0,085.$$

Итак для 1 группы косвенных расходов получаем выражение:

$$B_p = \frac{0,0044 T_i \gamma L_0 (p_i + 7,5) \left(1,5 + \frac{v_i}{20} + i\right) \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) \cdot 0,35 F v_i \cdot 0,085}{v_0 p_i F'} \cdot \frac{1}{L_0} =$$

$$= \frac{0,000131 T_i \gamma v_i (p_i + 7,5) \left(1,5 + \frac{v_i}{20} + i\right) \left(1 + \frac{1,6}{i}\right)}{v_0 p_i} \text{ рублей} \quad . \quad (3).$$

**2. Центральная электрическая станция.** Годовые отчисления, связанные с сооружением и оборудованием центральной электрической станции, слагаются из процентов на капитал  $\delta_k$ , процентов на погашение капитала  $\delta_n$ , процентов на возобновление оборудования центральной станции  $\delta_a$  и расхода по обслуживанию таковой, могущего быть выраженным также известным процентом  $\delta_0$  от затраченного капитала. Обозначим годовые расходы, обуславливаемые сооружением центральной станции и отнесенные на 1 км. воздушной линии, через  $B_{ис}$ , число установленных киловатт  $KW_y$ , стоимость центральной станции, отнесенная на 1  $KW_y$ , через  $C_{ис}$ , коэффициент годового отчисления  $\frac{\sum \delta}{100}$ , тогда:

$$B_{ис} = KW_y C_{ис} \frac{\sum \delta}{100} \cdot \frac{1}{L_0} \text{ руб.}$$

Мощность центральной станции определяется по числу поездов пассажирских и товарных, находящихся одновременно в движении, и среднему расходу энергии на поезд. Полагая, что участковая коммерческая скорость пассажирского поезда в 2 раза больше товарного, т.е. равна  $2v_0$ , получаем время нахождения на участке  $L$  пассажирского поезда в  $\frac{L}{2v_0}$  часов. За этот промежуток времени на участок отправится в среднем:

$$\frac{L}{2v_0} : \frac{24}{k} = \frac{kL}{48v_0}$$

пассажирских поездов. Подобным же образом определяется и число одновременно находящихся на участке товарных поездов:

$$\frac{L}{v_0} : \frac{24}{n} = \frac{nL}{24v_0}$$

То и другое количество поездов исчислено для одного направления, а поэтому для нахождения общего количества для обоих направлений приведенные выражения надо удвоить. Зная затем удельный расход энергии  $y$  вт.ч. на тонну-километр и число совершаемых поездом тонно-километров в час, как результат пробега поездом весом  $Q_p + Q$  тонн со среднюю часовую перегонную скоростью  $v_2$  км/ч, находим средний расход энергии на тягу всех поездов, находящихся одновременно в движении, считая таковой на ободе колес электроваза,

$$\frac{2kL}{48v_0} (Q_p + Q_n) \cdot \frac{2v_2 y}{1000} + \frac{2nL}{24v_0} (Q_p + Q_m) \frac{v_2 y}{1000} \text{ КВ—часов,}$$

что на шинах центральной станции, обозначая коэффициент полезного действия от колес электроваза до шипы станции через  $\eta_{nc}$ , и принимая во внимание, что вес пассажирского поезда, составляет около половины веса товарного поезда  $Q_p + Q_n = \frac{1}{2} (Q + Q_m)$  — выразится в

$$\frac{Lv_2 y (Q_p + Q_m) \left( \frac{k}{2} + n \right)}{12000 \eta_{nc} v_0} \text{ КВ—час.}$$

Так как это выражение представляет собой количество  $КВ$ — часов в час, то оно же численно дает рабочую мощность машин на центральной станции, выраженную в  $КВ$ . Принимая резерв в 20%, установленную мощность машин  $КВ_y$  получаем в 1,2 раза больше:

$$КВ_y = \frac{Lv_2 y (Q_p + Q_m) \left( \frac{k}{2} + n \right)}{10000 \eta_{nc} v_0}$$

Число товарных поездов, согласно предыдущего:

$$n = \frac{1,2T_i \gamma}{30p_i N} = \frac{T_i \gamma}{25p_i N} = \frac{T_i \gamma (p_i + 7,5) \left(1,5 + \frac{v_i}{20} + i\right)}{25p_i F} =$$

$$= \frac{0,002T_i \gamma (p_i + 7,5) (30 + v_i + 20i)}{p_i F}$$

Вес товарного поезда

$$Q_m = \frac{F}{1,5 + \frac{v_i}{20} + i} \text{ тонн.}$$

Вес электровоза

$$Q_o = \frac{P}{18} = \frac{F_k v_i}{270 \cdot 0,94 \cdot 18} = \frac{1,07 F v_i}{4570} = 0,000234 F v_i \text{ тонн.}$$

Удельный расход энергии  $y$  на тягу поездов, выраженный в ватт-часах затрачиваемых на тонну-километр пробега груза, принимается на основании заграничных данных равным 15  $wh/ч$  и как бы не зависящим от подъема. В действительности эта зависимость имеет место, так как энергия, затрачиваемая на подъем поезда на известную высоту, при движении под уклон частью поглощается торможением и чем профиль дороги содержит большие подъемы и уклоны, тем больше энергия, поглощаемая торможением и тем, следовательно, больше удельный расход энергии. Эта зависимость была обследована инженером *А. М. Гусевым* в применении к дорогам равнинного характера и им предложена следующая формула для удельного расхода энергии в функции от  $i$ :

$$y = 8,33 + 0,85 i \text{ } wh/t \cdot км.$$

Эту зависимость мы и введем в дальнейшие наши расчеты. Принимая процент на капитал  $\delta_k = 4,4$ , на погашение капитала  $\delta_n = 0,7$ , возобновление оборудования центральной станции  $\delta_a = 3,4$  (20 годовой срок службы по сложным процентам) и стоимость ремонта и обслуживания в 2% от стоимости оборудования  $\delta_o = 2$ , получаем общий коэффициент годового отчисления  $\frac{\sum \delta}{100} = 0,105$ .

Годовой расход, связанный с устройством и обслуживанием центральной станции, таким образом, выразится:

$$B_{uc} = \frac{Lv_2 y (Q_o + Q_m) \left(\frac{k}{2} + n\right) C_{uc} \cdot \frac{\sum \delta}{100}}{10000 \gamma_{uc} v_o L_o} =$$

$$= \frac{0,105 L_o \cdot C_{uc} v_2 \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) (8,33 + 0,85 i) \left(0,000234 F v_i + \frac{F}{1,5 + \frac{v_i}{20} + i}\right)}{10000 \gamma_{uc} v_o L_o}$$

$$B_{uc} = \frac{\left[ \frac{k}{2} + \frac{0,002T_i \gamma(p_i + 7,5)(30 + v_i + 20i)}{p_i F} \right] \cdot 2,1 \cdot 10^{-8} C_{uc} v_2 (i + 1,6) (8,33 + 0,85i) \left( 0,000234 v_i + \frac{20}{30 + v_i + 20i} \right)}{p_i \eta_{uc} v_0^i \cdot [250 p_i k F + T_i \gamma(p_i + 7,5)(30 + v_i + 20i)]} \dots (4)$$

Стоимость центральной электрической станции с паро-турбо-генераторами, отнесенная на 1 *KW* установленной мощности выражается при трехфазно-постоянной системе электрической тяги в  $C_{uc} = 160$  руб. при однофазной же системе в  $C_{uc} = 190$  руб. Коэффициент полезного действия  $\eta_{uc}$  от шин центральной станции до ободьев колес электроваз составляется из следующих элементов:

|                                                                      | Система тяги<br>трехфазн. по-<br>стоян. | Однофазная. |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|
| Повышающая подстанция . . . . .                                      | 0,96                                    | 0,96        |
| Линия передачи . . . . .                                             | 0,94                                    | 0,94        |
| Понижающая подстанция . . . . .                                      | 0,96                                    | 0,96        |
| Преобразователь . . . . .                                            | 0,86                                    |             |
| Контактная линия . . . . .                                           | 0,90                                    | 0,90        |
| Электроваз: трансформатор . . . . .                                  |                                         | 0,96        |
| двигатель . . . . .                                                  | 0,92                                    | 0,91        |
| зубч.-рычажн. передача . . . . .                                     | 0,94                                    | 0,94        |
| Итого $\eta_{uc \text{ т.-п.}} = 0,58$ $\eta_{uc \text{ од}} = 0,64$ |                                         |             |

**5. Подстанции.** Годовые отчисления, связанные с устройством и оборудованием подстанций, распадаются на отчисления от стоимости электрического оборудования подстанций, куда должен быть отнесен и известный процент на их обслуживание, и на отчисления от стоимости зданий подстанций. Первая группа расходов, если обозначить  $KW_{yn}$  число установленных на подстанции  $KW$ ,  $C_{нд}$  — стоимость электрического оборудования подстанции, отнесенная на 1  $KW$ ,  $\frac{\Sigma_1 \delta}{100}$  — коэффициент годовых отчислений и  $L_{10}$ , расстояние между подстанциями по воздушной линии, выразится так:

$$KW_{yn} C_{нд} \frac{\Sigma_1 \delta}{100} \cdot \frac{1}{L_{10}}.$$

Вторая же группа расходов, если обозначить через  $L_1$  расстояние между подстанциями, измеряемое по длине пути,  $C_{зд}$  стоимость здания подстанции и  $\frac{\Sigma_2 \delta}{100}$  коэффициент годовых отчислений, представится

в виде  $\frac{L}{L_1} \cdot C_{эд} \frac{\Sigma_2 \delta}{100} \cdot \frac{1}{L_0}$ . Следовательно, общие годовые отчисления от устройства и оборудования подстанций:

$$B_{нд} = KW_{yn} C_{нд} \cdot \frac{\Sigma_2 \delta}{100} \cdot \frac{1}{L_{10}} + \frac{L}{L_1} \cdot C_{эд} \cdot \frac{\Sigma_2 \delta}{100} \cdot \frac{1}{L_0} \text{ руб.}$$

При длине перегона в  $l_{km}$ , число перегонов между подстанциями определяется в  $\frac{L_1}{l}$ . Полагая, что на каждом перегоне находится по товарному поезду, что отвечает более невыгодному случаю нагрузки подстанции, потребляющему в среднем, согласно предыдущему,

$$\begin{aligned} \frac{(Q_2 + Q_m) v_2 y}{1000} &= \frac{\left(0,000234 F v_i + \frac{F}{1,5 + v_i/20 + i}\right) v_2 (8,33 + 0,85i)}{1000} = \\ &= \frac{F v_2}{1000} \left(0,000234 v_i + \frac{20}{30 + v_i + 20i}\right) (8,33 + 0,85i) KW\text{-час,} \end{aligned}$$

обозначая  $\eta_{нд}$  — коэффициент полезного действия, считая от ободьев колес электроваза до шин пониженного напряжения на подстанции, и принимая для резерва машин и трансформаторов  $30\%$ , получаем для  $KW_{yn}$  следующее выражение:

$$KW_{yn} = \frac{1,3 L_1 F v_2}{\eta_{нд} \cdot l \cdot 1000} \left(0,000234 v_i + \frac{20}{30 + v_i + 20i}\right) (8,33 + 0,85i).$$

Процент на капитал  $\delta_k = 4,4$ , на погашение капитала  $\delta_n = 0,7$  на возобновление электрического оборудования  $\delta_a = 2,4$ , что отвечает 25-летнему сроку службы оборудования, считая по сложным процентам, обслуживание и ремонт  $\delta_o = 2$ . Коэффициент годовых отчислений  $\frac{\Sigma \delta}{100} = 0,095$ .

Стоимость установленного киловатта подстанций при трехфазно-постоянном токе выражается в  $C_{нд} = 100$  р., при однофазном токе  $C_{нд} = 30$  р. Расстояние между подстанциями, при постоянном токе в контактных проводах,  $L_1 = 30-40$  км, в среднем 37,5 км, то же при однофазном токе  $L_1 = 100$  км. При однофазном токе  $\eta_{нд} = 0,74$ ; при трехфазно-постоянном  $\eta_{нд} = 0,78$ . На основании кривых, полученных совместным решением уравнений 1 и 2, между длиной перегонов  $l$  и максимальной пропускной способностью  $n$  при различных значениях  $k = 2, 3, 4$ , может быть выведена следующая зависимость:

$$l_{k=2} = \frac{200}{n}$$

$$l_{k=3} = \frac{186}{n}$$

$$l_{k=4} = \frac{174}{n}$$

Стоимость здания при трехфазно-постоянном токе выражается в  $C_{зд} = 90000$  руб., при однофазном  $C_{зд} = 45000$  руб. Принимаем срок службы зданий в 40 лет, что отвечает при сложных процентах  $\delta_a = 1,1\%$ , на возобновление  $\delta_k = 4,4$ ;

$$\delta_0 = 0,7 \cdot \Sigma \frac{\delta}{100} = 0,062.$$

$$B_{нд} = \frac{1,3 L_0 \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) F v_2}{\eta_{нд} l \cdot 1000} \left(0,000234 v_i + \frac{20}{30 + v_i + 20_i}\right) \left(8,33 + 0,85i\right) C_{нд} \cdot 0,095 \frac{1}{L_0} + \frac{L_0}{L_1} \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) C_{зд} \cdot 0,062 \frac{1}{L_0}.$$

$$B_{нд} = \frac{0,000123}{\eta_{нд} l} F v_2 C_{нд} \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) \left(0,000234 v_i + \frac{20}{30 + v_i + 20_i}\right) \left(8,33 + 0,85i\right) + \frac{0,062 C_{зд}}{L_1} \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) \dots \dots \dots (5)$$

4. Земляное полотно, верхнее строение, искусственные сооружения. На основании сравнения вариантов с различными предельными подъемами в отношении количества земляных работ для линии равнинного характера может быть установлена зависимость стоимости земляных работ  $r$  от величины предельного подъема такого вида:

$$r_x = \frac{i_x^2}{i^2},$$

где  $r_x$  стоимость 1 км земляного полотна при предельном подъеме  $i_x$ . Для  $i_x = 8$  стоимость  $r_8$  может быть принята в 6.700 р.

Обозначая через  $S_1$  стоимость 1 км верхнего строения, составляющую около 13.000 р., и через  $S_2$  стоимость искусственных сооружений, подающую на 1 км дороги и составляющую около 10.000 руб., и через  $\Sigma_r \frac{\delta}{100}$ ;  $\Sigma_{S_1} \frac{\delta}{100}$  и  $\Sigma_{S_2} \frac{\delta}{100}$  коэффициенты соответственных годовых отчислений, — получаем для годовых отчислений от расходов, связанных с устройством земляного полотна, верхнего строения и искусственных сооружений, следующее выражение

$$B_{зм} = L_0 \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) \left(\Sigma_r \frac{\delta}{100} r_8 \frac{8^2}{i^2} + \Sigma_{S_1} \frac{\delta}{100} \cdot S_1 + \Sigma_{S_2} \frac{\delta}{100} S_2\right) \cdot \frac{1}{L_0}.$$

Принимая на возобновление полотна  $\delta_a = 1\%$  (срок службы 40 лет), на ремонт его  $\delta_0 = 0,5$ , на возобновление верхнего строения (25 лет)  $\delta_a = 2, 4\%$ ,  $\delta_0 = 1\%$ , возобновление искусственных сооружений (30 лет)

$\delta_a = 1,8\%$ ,  $\delta_0 = 0,5\%$ , что отвечает коэффициентам годовых отчислений в  $\Sigma_r \frac{\delta}{100} = 0,066$ ,  $\Sigma_{S_1} \frac{\delta}{100} = 0,085$  и  $\Sigma_{S_2} \frac{\delta}{100} = 0,074$ , имеем:

$$B_{эж} = \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) \left(4,23 \frac{r_8}{i^2} + 0,085 S_1 + 0,074 S_2\right) \dots (6)$$

**5. Ремонт электровозов.** Стоимость ремонта электровозов выражается на основании данных эксплуатации заграничных электрических жел. дор. в 0,04 р. с поездо-километра. Общий годовой пробег поездов составляет  $\frac{T_1 \cdot 2L}{Q_m}$ , откуда годовой расход на ремонт электровозов, отнесенный на 1 км воздушной линии.

$$B_{эп} = \frac{T_1 \cdot 2L \cdot 0,04}{Q_m} \cdot \frac{1}{L_0} = 0,8 \cdot T_1 \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) : \frac{F}{1,5 + v_i/20 + i} = \\ = \frac{0,08 T_1 \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) (30 + v_i + 20i)}{20 F} \text{ руб.} \dots (7)$$

**6. Электровозные и кондукторские бригады.** Расход на бригады зависит также непосредственно от пробега поездов и составляет 0,11 руб. с поездо-километра. Годовой расход по этой статье выражается следовательно:

$$B_{бр} = \frac{0,22 T_1 \left(1 + \frac{1,6}{i}\right) (30 + v_i + 20i)}{20 F} \text{ руб.} \dots (8)$$

**7. Электрическая энергия на тягу поездов.** Выше было указано, что расход электрической энергии может быть принят в  $y = 8,33 + 0,85 i$  ватт-ч. на тонно-километр пробега груза brutto. Обозначая стоимость  $KW$ — часа через  $C_{kw}$  общий пробег по линии грузов brutto через  $\Sigma t \cdot km$ , получаем для годового расхода электрической энергии на тягу поездов, отнесенного к 1 км воздушной линии, выражение:

$$B_{kw} = \frac{\Sigma t \cdot km \cdot y \cdot C_{kw}}{1000 \eta_{ис}} \cdot \frac{1}{L_0}$$

$\Sigma t \cdot km$  складывается из пробега грузов brutto в груженом направлении, из пробега их в обратном направлении и пробега порожняка в обратном направлении. Если обозначить грузовой поток в груженом направлении через  $T_1$ , в обратном направлении через  $T_{об}$ , их отношение  $\frac{T_1}{T_{об}} = \beta$ , отношение средней нагрузки груженого вагона в груженом направлении  $p_i$  к средней нагрузке в обратном направлении  $p_{об}$  через  $\frac{p_i}{p_{об}} = \varepsilon$ , то вес груженных вагонов brutto, следующих

в груженом направлении, выразится в  $\frac{T_1}{p_1} (p_1 + 7,5)$ , а их пробег  $L \cdot \frac{T_1}{p_1} (p_1 + 7,5)$ . Пробег груженных вагонов в обратном направлении:

$$L \frac{T_{об}}{p_{об}} (p_{об} + 7,5) = L \frac{T_1}{p_1} \cdot \frac{\varepsilon}{\beta} \left( \frac{p_1}{\varepsilon} + 7,5 \right),$$

а пробег порожняка в обратном направлении:

$$L \left( \frac{T_1}{p_1} - \frac{T_{об}}{p_{об}} \right) 7,5 = L \cdot 7,5 \left( \frac{T_1}{p_1} - \frac{T_1}{p_1} \cdot \frac{\varepsilon}{\beta} \right) = L \cdot 7,5 \cdot \frac{T_1}{p_1} \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\beta} \right),$$

откуда:

$$\begin{aligned} \sum t \cdot km &= L \left[ \frac{T_1}{p_1} (p_1 + 7,5) + \frac{T_1}{p} \cdot \frac{\varepsilon}{\beta} \left( \frac{p_1}{\varepsilon} + 7,5 \right) + 7,5 \frac{T_1}{p_1} \left( 1 - \frac{\varepsilon}{\beta} \right) \right] = \\ &= L \frac{T_1}{p_1} \left[ p_1 + 7,5 + \frac{p_1}{\beta} + 7,5 \frac{\varepsilon}{\beta} + 7,5 - 7,5 \frac{\varepsilon}{\beta} \right] = \\ &= L \frac{T_1}{p_1} \left[ p_1 \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) + 15 \right], \end{aligned}$$

а

$$B_{kw} = \frac{C_{kw} L_0 \cdot \left( 1 + \frac{1,6}{i} \right) \frac{T_1}{p_1} \left[ p_1 \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) + 15 \right] (8,33 + 0,85i)}{1000 \eta_{nc}} \cdot \frac{1}{L_0}$$

$$B_{kw} = \frac{C_{kw} T_1 \left[ p_1 \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) + 15 \right] \left( 9,7 + \frac{13,3}{i} + 0,85i \right)}{1000 \eta_{nc} p_1} \text{ руб. . . (9)}$$

Для стоимости 1  $KW$ -часа на первичных шинах центральной станции могут быть приняты следующие значения:

Для гидроэлектрической станции  $C_{kw} = 0,01$  р.

Для центральной электрической станции на угле  $C_{kw} = 0,015$  р.

Для центральной электрической станции на торфе  $C_{kw} = 0,03$  р.

Общая сумма  $B$  годовых расходов и отчислений, зависящих в той или иной степени от предельного подъема  $i$ , выразится, следовательно:

$$B = B_0 + B_{nc} + B_{нд} + B_{зм} + B_{зр} + B_{бр} + B_{kw}.$$

Слагаемые  $B_0$  и  $B_{nc}$  зависят от двух переменных, а именно от предельного подъема  $i$  и участковой скорости  $v_0$ , остальные же слагаемые только от  $i$ . Задаваясь различными значениями  $v_0$ , определяем минимум расходов  $B$  для каждого значения  $v_0$ , пользуясь графическим

методом, как более быстрым и удобным. Так как минимум  $B$  при данном  $v_0$  отвечает определенному значению  $i$ , то мы получаем таким образом зависимость между  $v_0$  и  $i$ , основанную на коммерческих соображениях, т.е. минимуме годовых расходов. Эту зависимость изображаем графически в виде  $v_0 = f(i)$ . Принимая, затем, во внимание, что между потребной пропускной способностью дороги  $n$  поездов в сутки при заданном грузообороте  $T_i$  и предельным подъемом  $i$  имеется прямолинейная зависимость следующего вида:

$$n = \frac{1,2 T_i \gamma}{30 p_i N} = \frac{1,2 T_i \gamma (p_i + 7,5) (1,5 + \frac{v_i}{20} + i)}{30 p_i F} = \frac{0,002 T_i \gamma (p_i + 7,5) (30 + v_i + 20i)}{p_i F} \dots \dots \dots (10)$$

переходим в упомянутой кривой от абсцисс  $i$  к абсциссам  $n$ , т.е. получаем кривую  $v_0 = f_1(n)$ , обоснованную вышеупомянутыми коммерческими соображениями.

Нанося затем как эту кривую, так и кривую  $v_0 = f_1(n)$ , полученную от совместного решения уравн. 1 и 2, на общий график, получаем пересечение обеих кривых в точке, абсцисса которой представляет собой как наибольшую возможную пропускную способность при данной средней длине перегона  $l$ , так и пропускную способность, удовлетворяющую заданному грузообороту при предельном подъеме  $i$ , определяемом уравн. 10.

Поясним вышесказанное примером.

Предположим, что годовой грузооборот проектируемой линии с электрической тягой составляет к расчетному году в груженом направлении  $T_i = 1500000$  т, в порожнем  $T_{об} = 500000$  т. Коэффициент неравномерности движения в зависимости от характера груза может быть принят  $\gamma = 1/6$  ( $p_i = 15$  т,  $p_{об} = 10$  т). Силу тяги на крюке по допускаемому усилию к стяжке принимаем  $F = 20000$  кз. Число пассажирских поездов в сутки  $k = 3$ . Наименьшую скорость на предельном подъеме принимаем в  $v_i = 25$  км/ч, что отвечает, согласно предидущему, средней перегонной скорости  $v_2 = 38$  км/ч. Система тяги, предположим, однофазная. Тогда  $C_{ис} = 190$  р.;  $\eta_{ис} = 0,64$ ,  $C_{нод} = 30$  р.

$$C_{од} = 45000 \text{ р.}; \quad \eta_{нод} = 0,74; \quad l_{к=3} = \frac{186}{n}; \quad L_1 = 100 \text{ км.}$$

Центральная станция на угле  $n$ , следовательно:

$$C_{кв} = 0,015 \text{ р.}; \quad r_s = 6700 \text{ р.}; \quad S_1 = 13000 \text{ р.}; \quad S_2 = 10000 \text{ р.}$$

$$\beta = \frac{T_i}{T_{об}} = 3; \quad \varepsilon = \frac{p_i}{p_{об}} = 1,5.$$

По формуле 3 находим:

$$B_p = \frac{0,000131 \cdot 1500000 \cdot 25 \cdot 22,5 (55 + 20 i) (1,6 + i)}{9 \cdot 20 \cdot 15 v_0 i} = \\ = \frac{820 i^2 + 3560 i + 3610}{v_0 i} \dots \dots \dots (3')$$

По формуле 4—

$$B_{uc} = \frac{2,1 \cdot 10^{-8} \cdot 190 \cdot 38 (i + 1,6) (8,33 + 0,85 i) \left( 0,000234 \cdot 25 + \frac{20}{55 + 20 i} \right)}{15 \cdot 0,64 \cdot v_0 \cdot i} \\ = \frac{[250 \cdot 15 \cdot 3 \cdot 20000 + 167000 \cdot 22,5 (55 + 20 i)]}{15 \cdot 0,64 \cdot v_0 \cdot i} \\ = \frac{1185 (i + 1,6) (8,33 + 0,85 i) (1,016 + 0,00585 i) (5,75 + i)}{v_0 i (2,75 + i)} = \\ = \frac{5 \cdot 9 (i^2 + 11,4 i + 15,65) (i^2 + 180 i + 1000)}{v_0 (i^2 + 2,75 + i)} \dots \dots \dots (4')$$

По формуле 5—

$$B_{no} = \frac{0,000123 \cdot 20000 \cdot 38 \cdot 30 \cdot (i + 1,6) \left( 0,000234 \cdot 25 + \frac{20}{55 + 20 i} \right)}{0,74 \cdot 186 \cdot i} \\ = \frac{(8,33 + 0,85 i) \cdot n}{0,74 \cdot 186 \cdot i} + \frac{0,062 \cdot 45000 (i + 1,6)}{100 i}$$

По формуле 10—

$$n = \frac{0,002 \cdot 167000 \cdot 22,5 (55 + 20 i)}{15 \cdot 20000} = 0,025 (55 + 20 i) = 1,37 + 0,5 i \\ B_{no} = \frac{20,3 (i + 1,6) (1,016 + 0,00585 i) (8,33 + 0,85 i) (1,37 + 0,5 i)}{i (275 + i)} + \\ + 27,9 (i + 1,6) = \frac{0,057 (i^3 + 185,4 i^2 + 1990 i + 2730)}{i} + \\ + 27,9 (i + 1,6) \dots \dots \dots (5')$$

По формуле 6—

$$B_{зм} = \frac{(i + 1,6) (4,23 \cdot 6700 + 0,085 \cdot 13000 i^2 + 0,074 \cdot 10000 i^2)}{i^3} = \\ = \frac{1845 (i^3 + 1,6 i^2 + 15,35 i + 24,55)}{i^3}$$

По формуле 7—

$$B_{op} = \frac{0,08 \cdot 1500000 \cdot (i+1,6) (55+20i)}{20 \cdot 20000 \cdot i} = \frac{6 (i+1,6) (2,75+i)}{i} =$$

$$= \frac{6 (i^2 + 4,35i + 4,4)}{i} \dots \dots \dots (7')$$

По формуле 8—

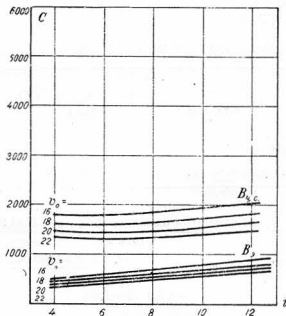
$$B_{op} = \frac{16,5 (i^2 + 4,35i + 4,4)}{i} \dots \dots \dots (8')$$

По формуле 9—

$$B_{кв} = \frac{0,015 \cdot 1500000 \left( 15 \cdot \frac{4}{3} + 15 \right) \left( 9,7 + \frac{13,3}{i} + 0,85i \right)}{1000 \cdot 0,64 \cdot 15} =$$

$$= \frac{29,6 (i^2 + 11,4i + 15,6)}{i} \dots \dots \dots (9')$$

По формулам 3' и 4' строим по четыре кривые для  $v_0 = 16, 18, 20$  и  $22$  км/ч., определяя  $B_{op}$  и  $B_{кв}$  для  $i = 4, 6, 8, 10$  и  $12$ . Кривые для  $B_{op}$  и  $B_{кв}$  изображены на фиг. 4.

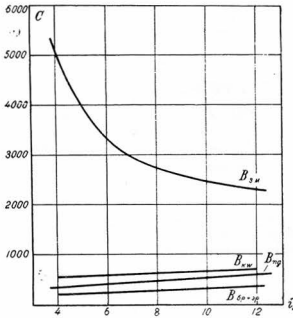


Фиг. 4.

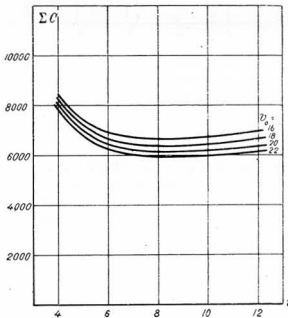
По формулам 5', 6', 7', 8' и 9' строим кривые для  $B_{нд}$ ,  $B_{зм}$ ,  $B_{op}$ ,  $B_{op}$  и  $B_{кв}$ , представленные на фиг. 5.

Суммируем все категории расходов для  $v_0 = 16, 18, 20$  и  $22$  (фиг. 6). Из этих кривых находим по минимальным ординатам со-

ответствующие абсциссы и по ним строим кривую  $v_0 = f(i)$  (фиг. 7).  
 Заменяя в последней кривой абсциссы  $i$  абсциссами  $n$ , согласно  
 форм. 10, строим кривую  $v_0 = f_2(n)$  (фиг. 8). На том же чертеже

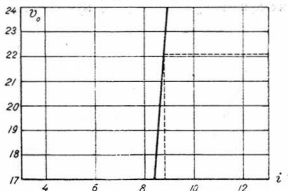


Фиг. 5.

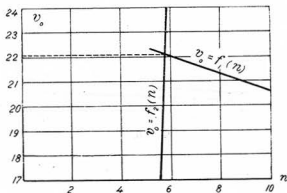


Фиг. 6.

наносим кривую  $v_0 = f_1(n)$ , т.е. пунктирную кривую фиг. 2 и пересечение их определяет  $n = 5,8$  и  $v_0 = 22,1$ , отвечающие всем выше-



Фиг. 7.



Фиг. 8.

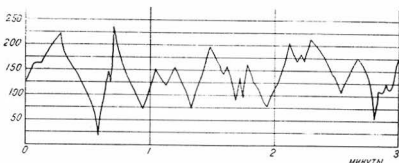
поставленным условиям. Подставляя найденные значения для  $n$  в форм. 10, находим наимыгоднейший подъем  $i = 8,8$ .

По пунктирной кривой фиг. 2 или по форм. 2 находим по  $n$  среднюю длину перегона  $l = 29,6$  км.

Профессор Д. И. Юскевич.

## Применение теории вероятностей к выбору мощности тяговых подстанций.

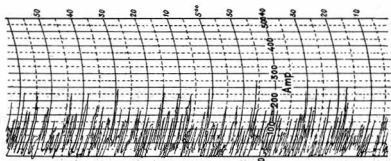
Выбор мощности тяговой подстанции на проектируемой дороге является обычно одним из самых трудных вопросов, так как применяющиеся при этом методы, хотя и чрезвычайно утомительные, редко приводят к ясности в этом вопросе. Обычно рекомендуется по графику движения поездов просуммировать мощности, потребляемые в данный момент отдельными поездами и таким образом по точкам построить график нагрузки станции или подстанции.



Фиг. 1а.

Чтобы получить график нагрузки, сколько-нибудь близкий к действительности, приходится точки, по которым суммируются мощности, выбирать чрезвычайно близко одна к другой, что, конечно, крайне осложняет работу и, все-таки, не дает настоящей картины работы подстанции, тем самым, не позволяя кроме того сразу решить вопрос о мощности установки. Из приведенных графиков действующих подстанций (см. фиг 1а и 1б) видно, что для получения сколько-нибудь правильной картины надо точки графика брать не более, чем через каждую секунду. При, хотя бы, 10-минутном промежутке времени, в течение которого желательно построить график, это требует большой затраты сил и тем не менее не дает прямого ответа на вопрос о мощности подстанции: получающееся решение отвечает совершенно случайной комбинации расположения поездов даже на пригородных до-

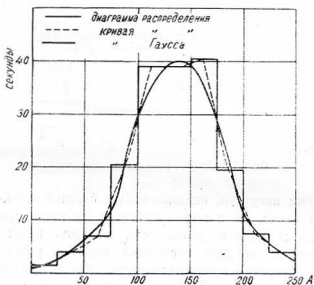
рогах где движение соответствует заданному графику движения, который все-таки вряд ли будет выполнен с точностью до 1 минуты (не говоря уже о секундах).



Фиг. 16.

Эти соображения и заставляют искать каких-нибудь законов, дающих возможность по данному графику или без него выбрать мощность подстанции.

Более или менее удовлетворительный ответ можно дать на этот вопрос, если подвергнуть анализу графики нагрузки подстанций



Фиг. 2.

электрических дорог. На фиг. 16 дан график, снятый самописцем прибором на подстанции электрической ветки в Woltersdorf'e (под Берлином) при движении 3 вагонов. Из рассмотрения этого графика прежде всего видно, что большие нагрузки—пики—длятся чрезвычайно мало времени и что также сравнительно редко встречаются нулевые точки графика; значительную часть времени нагрузка находится в пределах

близких к какой то средней величине. Наиболее удобно анализировать этот вопрос построив для данного графика кривую распределения, у которой по оси абсцисс отложены мощности или токи, а на оси ординат абсолютные или относительные частоты этих токов, т.е. выраженная в абсолютных величинах или в процентах к общей

продолжительности изучаемого промежутка времени суммарная длительность тех периодов, когда ток находится в данных пределах (отложенных по абсциссе). Такая кривая, построенная для изучаемого графика, дана на фиг. 2. Пределы установлены через 25 ампер и таким образом подсчитано, сколько времени ток, потребляемый тремя вагонами, лежит между 0 и 25 А, между 25 и 50 А и т. д. Результаты этих подсчетов указаны в таблице I.

ТАБЛИЦА I.

| Токи (в амперах)                              | 0—25 | 25—50 | 50—75 | 75—100 | 100—125 | 125—150 | 150—175 | 175—200 | 200—225 | 225—250 | Всего |
|-----------------------------------------------|------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Длительности (в секундах) . . . . .           | 1    | 4     | 7     | 20     | 39      | 39      | 40      | 19      | 7       | 4       | 180   |
| Относительные частоты (в процентах) . . . . . | 1    | 2     | 4     | 11     | 22      | 22      | 22      | 10      | 4       | 2       | 100   |

Затем по этим точкам был построен полигон распределения и по нему кривая распределения (фиг. 2).

Из рассмотрения этой кривой видно, что машина на подстанции прежде всего должна выдержать нагрев током, меняющимся в широких пределах, и что бывают весьма значительные отклонения от среднего значения тока на подстанции в ту или другую сторону.

Вот эти два момента и должны лечь в основу при выработке метода определения мощности подстанции.

Установка на подстанции не должна перегреться током и, кроме того, автомат, установленный на подстанции, не должен слишком часто выпадать и, таким образом, нарушать движение. Это последнее жестко связано с допустимой максимальной кратковременной перегрузкой (по круговому огню и т. д.), с числом пик за данный промежуток времени и устройством самого автомата.

Можно считать задачу решенной, если удастся убедиться, что установка выбранной мощности не перегревается от данного тока, пики максимальной величины более допустимой кратковременной перегрузки будут достаточно редки и автомат выпадет не слишком большое число раз.

Данная статья ставит себе задачей: 1) дать метод к определению эквивалентного по нагреву тока на подстанции при данном характере и размерах движения и 2) указать способы определения числа выпадений автоматов вследствие совпадения больших нагрузок у всех или нескольких вагонов, обращающихся в районе питания данной подстанции (при этом учитываются выпадения только вследствие слу-

чайного совпадения перегрузок; обрывы провода, короткие замыкания и пр. в расчет не приняты).

При решении первой задачи, при определении эквивалентного на перегрев тока, сделано допущение, что таким эквивалентом может служить средний квадратичный ток.

В этом предположении имеются две неточности: 1) при переменном режиме тока выделенное количество тепла в машинах с железом не будет строго пропорционально 2-й степени тока, 2) если бы даже первое обстоятельство не существовало, температура тела, нагретого эквивалентным током, не была бы равна таковой при нагреве постоянно меняющимся током, вследствие скачков температуры, а вместе с ней изменения в интенсивности теплоотдачи.

Оба эти обстоятельства в данном случае не играют особой роли, так как применение квадратичного тока в качестве эквивалента несколько преувеличивает температуру и таким образом идет в сторону „запаса“ мощности, что же касается второго соображения, то при крайней кратковременности пик и других колебаний графика скачки температуры и теплоотдачи — ничтожны.

Таким образом, необходимо найти средний квадратичный ток на подстанции при данном движении.

Введем следующие обозначения:

|           |                                                      |                                                                         |
|-----------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| $i_o$     | — средний ток одного вагона                          | } при пробеге всего перегона, находящегося в районе питания подстанции. |
| $i_{eff}$ | — средний квадратичный ток одного вагона             |                                                                         |
| $n$       | — число вагонов                                      |                                                                         |
| $I_o$     | — средний ток на подстанции.                         |                                                                         |
| $I_{eff}$ | — квадратичный ток на подстанции.                    |                                                                         |
| $\sigma$  | — среднее квадратичное отклонение для одного вагона. |                                                                         |
| $\Sigma$  | — „ „ „ на подстанции.                               |                                                                         |

Средний квадратичный ток вагона может быть получен следующим образом. Пусть, например, вагон Ленинградского трамвая за 100 секунд пробега одного перегона (вместе со стоянкой) в течение 55 секунд не потребляет тока, в течение 40 секунд потребляет ток около 70 А и в течение 5 секунд — ток 140 А.

| Длг.    | Ток    |
|---------|--------|
| 55 sec. | 0 amp. |
| 40 „    | 70 „   |
| 5 „     | 140 „  |

Тогда средний ток получится, как:

$$i_o = \frac{55 \times 0 + 40 \times 70 + 5 \times 140}{100} = 35 \text{ amp.}$$

а средний квадратичный ток

$$i_{eff} = \sqrt{\frac{55 \times 0^2 + 40 \times 70^2 + 5 \times 140^2}{100}} = 56,5 \text{ amp.}$$

Для определения  $\sigma$  — среднего квадратичного отклонения — надо иметь в виду, что эта величина связана с  $i_o$  и  $i_{eff}$  следующей простой зависимостью:

$$i_{eff} = \sqrt{i_o^2 + \sigma^2}, \text{ откуда } \sigma = \sqrt{i_{eff}^2 - i_o^2}.$$

Следовательно, зная  $i_{eff}$  и  $i_o$  для вагона Ленинградского трамвая можно всегда найти и  $\sigma$ .

В данном случае

$$\sigma = \sqrt{56,5^2 - 35^2} = 43,5 \text{ amp.}$$

Величина эта будет зависеть при том же  $i_o$  от изломанности графика  $i = f(t)$  для вагона, так что при длинных перегонах, когда движение под током значительно более  $1/2$  всего времени пробега перегона, график  $i = f(t)$  получается более ровным и среднее квадратичное отклонение, т.-е. величина в сущности характеризующая рассеянность, отклонение значений данной переменной величины от ее среднего значения, будет много меньше.

Если, например, представить себе вагон, все время потребляющий ток  $i_o$ , то для него  $i_{eff} = i_o$ , а  $\sigma = 0$ .

Соответственно этому  $I_o$ ,  $I_{eff}$  и  $\Sigma$  связаны аналогичной зависимостью:

$$I_{eff} = \sqrt{I_o^2 + \Sigma^2}. \dots \dots \dots (a)$$

Поэтому для нахождения  $I_{eff}$  надо знать  $I_o$  и  $\Sigma$ .

На основании теоремы теории вероятностей о математическом ожидании суммы,  $I_o$  может быть выражено через  $i_o$  и  $n$  следующим образом:

$$I_o = i_o n.$$

Что касается  $\Sigma$ , то она может быть выражена на основании теоремы Бернулли и выводов из нее через  $n$  и  $\sigma$  следующим образом:<sup>1</sup>

$$\Sigma = \sigma \sqrt{n}.$$

Подставляя эти значения в формулу (a) получаем

$$I_{eff} = \sqrt{n^2 i_o^2 + \sigma^2 n} = i_o n \sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{i_o^2} \frac{1}{n}} \dots \dots \dots (b)$$

В таком виде формула удобна для пользования. Однако в ней можно сделать еще некоторые преобразования; обозначим  $\frac{\sigma^2}{i_o^2} = \beta$ , тогда формула (b) примет вид

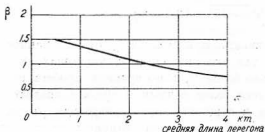
$$I_{eff} = i_o n \sqrt{1 + \beta \frac{1}{n}}. \dots \dots \dots (в)$$

<sup>1</sup> См. курс Маркова—Исчисление Вероятностей.

Коэффициент  $\beta$  будет тем больше, чем короче перегоны; для Ленинградского трамвая он равен

$$\beta = \frac{43.5^2}{35^2} = 1,5.$$

Для пригородных дорог со средней длиной перегона около 2—3 км коэффициент  $\beta \cong 1$ . На фиг. 3 дана кривая для значений  $\beta$ , даю-



Фиг. 3.

щую возможность, не определяя  $i_{eff}$  и  $\sigma$ , зная только  $i_0, n, \beta$ , определить с достаточной для ориентировки точностью средний квадратичный ток на подстанции.

Рассмотрим еще случай, когда подстанция питает ряд вагонов разной мощности, так что имеется ряд средних токов  $i_{01}, i_{02}, i_{03}, \dots$  и т. д. и, соответственно им, ряд средних квадратичных отклонений  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$  и т. д. Тогда подставляемые в формулу (а) величины будут:

$$I_0 = i_{01} + i_{02} + i_{03} + \dots + i_{0n}$$

$$\Sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

Формула (а) примет вид

$$I_{eff} = \sqrt{[i_{01} + i_{02} + i_{03} + \dots + i_{0n}]^2 + \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2}$$

На этом мы и остановимся при решении первой части нашей задачи.

Переходя ко второй части, подчеркнем, что мощность, определенная по среднему квадратичному току,  $I_{eff}$ , может оказаться недостаточной (особенно при очень небольшом числе вагонов) вследствие частых перегрузок при одновременных троганиях.

Например, пусть на подстанции, питающей пригородное движение ( $\beta = 1$ ), обращаются 3 поезда, для которых

$$i_{max} = 140 \text{ A}; i_0 = 35 \text{ A}.$$

Тогда по формуле (в) получится

$$I_{eff} = i_0 n \sqrt{1 + \frac{1}{n}} = 35,3 \sqrt{1 + \frac{1}{3}} \cong 120 \text{ A}.$$

Пусть, напр., максимальная кратковременная перегрузка, выше которой не пропустит автомат, трехкратная (по отношению к продол-

жительной мощности); тогда, значит, автомат должен выключаться при токе  $120 \times 3 = 360$ , что покрывает троганье 2 вагонов, но не покрывает троганье 3 вагонов, —  $3 \times 140 = 420 \text{ А}$ <sup>1</sup>.

Наоборот, при 10 вагонах на такой же подстанции, одновременное троганье 6 вагонов будет уже сравнительно мало вероятным и ток  $6 \times 140 + 4 \times 35 = 980 \text{ А}$  может быть уже снят автоматом. Если считать, что этот ток будет равен току трехкратной перегрузки, то расчетная мощность по току определится приблизительно в  $320 \text{ А}$ . Это совершенно не годится с точки зрения нагрева:

$$I_{\text{eff}} = 10 \times 35 \sqrt{1 + \frac{1}{10}} \approx 370 \text{ А}$$

Из этих примеров видно, что иногда мощность определенная по эффективному току больше одной трети от расчетного и достаточного частого пика, а иногда меньше.

Точной границы между условиями применения этих методов провести нельзя, но ясно, что при очень малом числе вагонов доминирующее значение будут иметь пики, а при сколько-нибудь значительном — средний квадратичный ток.

Вторая наша задача распадается на следующие вопросы:

- а) определение вероятности данного пика;
- б) определение средней длительности пика и числа пиков за данный период.

Для вычисления вероятности данного пика можно предложить два способа. Первый сводится к построению кривой распределения и по ней уже к нахождению вероятности того или иного пика. Второй к непосредственному вычислению вероятности того или иного совпадения.

Построение кривой распределения, не имея графика нагрузки, можно сделать, если заранее подобрать формулу для кривых такого характера. Необходимо указать, что кривые распределением графиков нагрузок при достаточно большом числе вагонов могут более или менее удачно подойти к кривой Гаусса, так наз. „нормальной кривой“<sup>4</sup>, при чем, чем больше вагонов, тем ближе кривая распределения к кривой Гаусса.

<sup>1</sup> Надо иметь в виду, что коэффициент перегрузки даваемый для тяговых установок обычно относится не к продолжительной мощности, определенной по среднему квадратичному току, а к номинальной мощности, которая несколько меньше продолжительной. Поэтому к вопросу о коэффициенте перегрузки по отношению к продолжительной мощности надо подходить весьма осторожно, пересчитывая его к другому основанию. Обычно по американским нормам, номинальной мощностью считается та, при которой машина может работать в течение 6 часов и температура машины будет в пределах 40—50°. После этого установка должна работать с перегрузкой по отношению к номинальной мощности в 50% в течение 2 часов, после чего температура не должна оказаться более чем на 5° выше максимально-допустимой.

Уравнение нормальной кривой следующее

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}$$

где

$x$  — абсцисса — т.е. ток, вероятность которого мы ищем;

$M$  — абсцисса, соответствующая максимальной ординате, близкая к  $I_0$

$y$  — искомая вероятность

$\sigma$  — среднее квадратичное отклонение

(для подстанции мы будем ставить вместо  $\sigma$  —  $\Sigma$ ).

На той же фиг. 2 кроме полигона и кривой распределения приведена и кривая Гаусса.

В таблице II приведены для сравнения абсолютные частоты

- 1) получаемые из исследования графика по кривой распределения и
- 2) соответствующие ординаты, вычисленные по уравнению Гаусса.

ТАБЛИЦА II.

| Токи (в амперах)                          | 0—25 | 25—50 | 50—75 | 75—100 | 100—125 | 125—150 | 150—175 | 175—200 | 200—225 | 225—250 |
|-------------------------------------------|------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ординаты кривой распределения в секундах) | 1    | 4     | 7     | 20     | 39      | 39      | 40      | 19      | 7       | 4       |
| Ординаты кривой Гаусса (в секундах)       | 1    | 3     | 9     | 21     | 36      | 41      | 36      | 21      | 9       | 3       |

Несмотря на такую большую сходимость ординат этих кривых, надо признаться, что иногда в наиболее для нас интересной части — в области больших перегрузок сходимость этих кривых особенно при малом числе вагонов нарушается, что и заставляет прибегать к более примитивным приемам — к вычислению вероятностей, пользуясь только теоремами сложения и умножения вероятностей.

Если обозначить вероятность потребления максимума у одного вагона или поезда через  $p$ , то, как известно, вероятность одновременного троганья с места  $n$  вагонов из общего числа вагонов  $n$  определяется как  $p^n$ , т.е. вероятность одновременного троганья 6 вагонов (из общего числа вагонов 6) на Ленинградском трамвае равна

$$\left(\frac{5}{100}\right)^6 = \frac{1}{64 \cdot 10^6}$$

Несколько хуже стоит вопрос в том случае, когда имеется не 6, а, скажем, 10 вагонов. Предстоит решить вопрос о вероятности троганья с места не всех десяти вагонов ( $p^n$ ), а о троганьи 6 вагонов из числа 10. При этом вероятность троганья определенных шести вагонов из 10 останется та же ( $p^6$ ), но появится большое число комбинаций, образующих 6 трогających вагонов. Число этих комбинаций представляет собой число сочетаний из 10 элементов по 6.

Поэтому вероятность того, что  $n$  вагонов из общего числа вагонов  $m$  одновременно потребляют ток максимум, с вероятностью  $p$  определится как

$$C_m^n p^n = \frac{\overbrace{m \cdot (m-1) \cdot (m-2) \cdot \dots}^n}{\underbrace{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot \dots}_n} p^n$$

При пользовании этой формулой надо иметь в виду, что кроме этих 6 ( $n$ ) вагонов существуют еще 4 ( $m-n$ ) вагонов, которые могут стоять или двигаться.

Тогда, конкретизировав задачу о нахождении вероятности определенного пика, надо будет из полученной вероятности для троганья 6 вагонов из 10 взять только ту часть, при которой остальные вагоны потребляют интересующий нас ток.

Разберем это на примере: пусть при тех же цифрах потребления энергии Ленинградским трамваем:

$$\begin{aligned} 140 A & - 5 \text{ сек;} \\ 70 A & - 40 \text{ сек;} \\ 0 A & - 55 \text{ сек;} \end{aligned}$$

мы имеем 10 вагонов и нас интересует какова вероятность того, что ток окажется более 1125 А, что соответствует троекратному среднему квадратичному току.

Действительно при  $\beta = 1,5$

$$I_{\text{eff}} = 10 \times 35 \sqrt{1 + \frac{1,5}{10}} = 375 A.$$

$$3 I_{\text{eff}} = 1125 A.$$

Рассмотрим все случаи, когда ток будет более этой величины.

$$\begin{array}{r} 1) \quad 6 \text{ вагонов} \times 140 = 840a \\ \quad \quad 4 \quad \quad \quad \times 70 = 280a \\ \hline \quad \quad \quad \quad \quad 1120a \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2) \quad 7 \text{ вагонов} \times 140 = 980a \\ \quad \quad 3 \quad \quad \quad \times 70 = 210a \\ \hline \quad \quad \quad \quad \quad 1190a \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 3) \quad 7 \text{ вагонов} \times 140 = 980a \\
 \quad 2 \quad \text{ " } \quad \times 70 = 140a \\
 \quad 1 \quad \text{ " } \quad \times 0 = 0 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1120a
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 4) \quad 8 \text{ вагонов} \times 140 = 1120a \\
 \quad 2 \quad \text{ " } \quad \times 70 = 140a \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1260a
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 5) \quad 8 \text{ вагонов} \times 140 = 1120a \\
 \quad 1 \quad \text{ " } \quad \times 70 = 70a \\
 \quad 1 \quad \text{ " } \quad \times 0 = 0 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1190a
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 6) \quad 9 \text{ вагонов} \times 140 = 1260a \\
 \quad 1 \quad \text{ " } \quad \times 70 = 70a \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1330a
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 7) \quad 9 \text{ вагонов} \times 140 = 1260a \\
 \quad 1 \quad \text{ " } \quad \times 0 = 0 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 1260a
 \end{array}$$

$$8) \quad 10 \text{ вагонов} \times 140 = 1440a$$

Рассмотрению подлежат только случаи 2, 4, 5, 6, 7 и 8.

Начнем со случая 2.

Вероятность троганья 7 вагонов из 10 равна

$$\frac{1}{2^7 \cdot 10^7} \cdot \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7} = \frac{12}{128 \cdot 10^6}$$

Вероятность того, что при этом остальные три вагона находятся под током, принимая в дальнейшем для простоты вероятность 70А не  $\frac{45}{100}$ , а  $\frac{1}{2}$ , будет  $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{8}$ ; значит общая вероятность случая 2 будет

$$\frac{12}{128 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{8} = \frac{12}{1024 \cdot 10^6} \approx 12 \cdot 10^{-9} = 120000 \cdot 10^{-13}$$

Случай 4.

$$\frac{1}{2^8 \cdot 10^8} \cdot \frac{10 \cdot 9}{1 \cdot 2} = \frac{9}{2^9 \cdot 10^7}$$

При этом вероятность того, что и остальные два вагона находятся под током, равна  $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$ , т.-е. результат по 4 случаю будет

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{9}{2^9 \cdot 10^7} = \frac{9}{2048 \cdot 10^7} = \frac{1}{23 \cdot 10^8} \approx 4 \cdot 10^{-10} = 4000 \cdot 10^{-13}$$

Случай 5.

Здесь вероятность тоже  $\frac{9}{2^9 \cdot 10^7}$ ; эту величину надо умножить на вероятность того, что 1 из 2 вагонов стоит, а другой находится

под током, что равно  $\frac{1}{2}$ . Таким образом, окончательная вероятность по случаю 5:

$$\frac{9}{2^9 \cdot 10^7} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{11 \cdot 10^8} \approx 1 \cdot 10^9 = 10000 \cdot 10^{-13}.$$

Случаи 6 и 7 указывают на безусловное, независимо от движения 10-го вагона, превышение предельного тока.

Таким образом, вероятность по случаям 6 и 7 будет

$$\frac{1}{2^9 \cdot 10^9} \cdot \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9} = \frac{1}{2^9 \cdot 10^8} \approx 200 \cdot 10^{-13}.$$

Случай 8 соответствует троганью 10 вагонов, вероятность чего

$$\frac{1}{2^{10} \cdot 10^{10}} = \frac{1}{1024 \cdot 10^{10}} = 1 \cdot 10^{-13}.$$

Сумма этих вероятностей

$$(120.000 + 4.000 + 10.000 + 200 + 1) \cdot 10^{-13} = 134201 \cdot 10^{-13}.$$

Отсюда видно, что почти исключительную роль сыграл случай 2-й, который практически только и следует принимать в расчет.

Полученная нами вероятность дает возможность решить один интересный вопрос: сколько времени за определенный срок, скажем за 1 год, нагрузка будет более 1125 А. Зная, что в году 31104000 секунд, можно, умножив это число на полученную вероятность, найти интересующую нас величину

$$\frac{31104000 \cdot 134201}{10^{13}} \approx 4,2 \text{ сек.}$$

Но эта общая продолжительность перегрузки 4,2 секунды мало интересная для нас величина, так как мы совершенно не знаем из скольких пиков она складывается и какой продолжительности каждый пик; может быть это один пик в 4,2 секунды, а может быть это 360 пик, случающихся каждый день по 0,01 секунде.

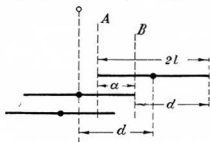
Для решения этой второй задачи поставим следующий (6) вопрос—какова средняя длительность пика при данных условиях работы и сколько будет пиков данной величины за данный период.

Положим, что длительность интересующего нас пика одинакова на всех вагонах и равна  $t_k = 2l$ .

Тогда ясно, что длительность пика на подстанции не может быть более  $t_k = 2l$ , но она может быть любой величины от 0 до  $t_k$ . Это будет зависеть от взаимного расположения пиков на отдельных вагонах друг относительно друга. Действительно, если при  $n$  вагонах все они начнут трогаться одновременно и кончат период разгона одновременно—пик будет иметь длительность  $t_k$ , но если троганье одного из вагонов начнется перед окончанием разгона у всех остальных вагонов, то, ясно, пик на подстанции будет равен по длитель-

ности этой минимальной перекрыши. Вообще, при любом расположении перекрывшихся периодов времени разгона, длительность пика на подстанции будет равна длине минимальной перекрыши.

Представим себе, что совпадают трогания с места  $n$  вагонов, при чем периоды разгона изобразим, как отрезки равной длины, каким-то образом расположенные один над другим с некоторыми перекрышами (см. фиг. 4). Для этого случая можно определить, насколько



Фиг. 4.

вероятно, что при данном положении отрезка I, (т.-е. при закрепленном положении разгона первого вагона) минимальная перекрыша, иначе говоря длительность пика на подстанции, будет более или равна  $a$ .

Эта вероятность определится следующим образом: пусть центр тяжести второго отрезка вместе с самим отрезком перемещается вправо от начального положения, т.-е. от того момента, когда левый конец I отрезка оказался над правым концом II отрезка. Тогда, начиная с некоторого момента перекрыша станет равной  $a$ ; в этот момент расстояние между центрами тяжести наших отрезков будет  $2l - a = d$ . Таким образом, центр тяжести II отрезка до момента совмещения с центром тяжести I отрезка совершит путь равный  $2l$ , из которого только часть  $d$  соответствует образованию перекрыши равной или большей, чем  $a$ .

Если проанализировать роль III отрезка, то при каждом положении II отрезка, соответствующем интересующему нас пику, III отрезок может занимать такие положения, что его правый конец находится левее черты  $A$ , между чертами  $A$  и  $B$ , и, наконец, правее черты  $B$ . Из всех этих положений нас интересует только последнее, так как перекрыша более или равная  $a$  получится при данном положении II отрезка только при условии нахождения центра тяжести III отрезка между чертой 0 и центром тяжести II отрезка. Совершенно очевидно, что мы рассматриваем все время только половину всех расположений отрезков, так как и после прохождения центра тяжести II отрезка будет перекрыша более  $a$ , но картина эта вполне симметрична первой половине и поэтому нами отбрасывается.

Изучая положения IV, V и т. д. отрезков получаем аналогичные картины: каждый раз при данном положении предыдущего отрезка для получения интересующей нас перекрыши отрезок последующий совершает путь между чертой 0 и совпадением центров тяжести этих двух отрезков. Поэтому началом движения отрезков и будем считать черту 0.

Для получения интересующей нас вероятности надо иметь в виду, что уже при 3 отрезках одна и та же перекрыша получается при двух положениях отрезков. Действительно, если при данном положении

II и III отрезка получается данная перекрыша, то достаточно их переставить, т.е. поставить III отрезок вместо II и II вместо III и мы получим другой случай, но ту же перекрышу. Учитывая все эти соображения, получим (при одной половине движения отрезков) следующее выражение вероятности ( $p_a$ ) того, что при отрезках длиной  $t_k - 2l$  перекрыша равна или более  $a$ :

$$p_a = (n-1)! \frac{\int_0^a dx_2 \int_0^{x_2} dx_3 \int_0^{x_3} dx_4 \dots \int_0^{x_{n-1}} dx_n}{(2l)^{n-1}} =$$

$$= (n-1)! \frac{a^{n-1}}{(n-1)! (2l)^{n-1}} = \frac{a^{n-1}}{(2l)^{n-1}} = \frac{(2l-a)^{n-1}}{(2l)^{n-1}} = \left(1 - \frac{a}{2l}\right)^{n-1}.$$

В этом выражении  $x_2, x_3, x_4, \dots$  обозначают координаты центров тяжести соответствующих отрезков.

Теперь определим вероятность того, что пик будет иметь длину между  $a$  и  $(a + da)$ . Эта элементарная вероятность

$$dw = p_a - p_{a+da} = -dp_a,$$

т.е.

$$dw = -dp_a = -(n-1) \left(1 - \frac{a}{2l}\right)^{n-2} \left(-\frac{1}{2l}\right) da =$$

$$= (n-1) \left(1 - \frac{a}{2l}\right)^{n-2} \frac{da}{2l}.$$

Для решения следующей задачи, т.е. нахождения средней величины перекрыши, или так называемого математического ожидания перекрыши, надо соответственные величины перекрыши перемножить на их вероятности и сложить эти произведения.

Элементарные слагаемые этого математического ожидания в данном случае выразятся следующим образом:

$$dM = a dW 2l;$$

$$M = \int_0^{2l} a (n-1) \left(1 - \frac{a}{2l}\right)^{n-2} \frac{da}{2l};$$

положим

$$\left(1 - \frac{a}{2l}\right) = z,$$

тогда

$$a = 2l(1-z)$$

и

$$da = -2l dz;$$

$$M = (n-1) \int_1^0 2l(1-z) z^{n-2} \cdot \frac{2l dz}{2l} = 2l(n-1) \int_0^1 (z^{n-2} - z^{n-1}) dz =$$

$$= 2l(n-1) \left[ \frac{z^{n-1}}{n-1} - \frac{z^n}{n} \right]_0^1 = 2l(n-1) \left[ \frac{1}{n-1} - \frac{1}{n} \right] = \frac{2l}{n} = \frac{t_k}{n}.$$

Теперь, зная среднюю длительность пика, можно по сумме времен всех пик за год или за другой промежуток времени судить о том, сколько же пик образуют такой промежуток.

В изложенном выше примере общая длительность пик была 4,2 секунды, а математическое ожидание длительности пика

$$\frac{t_k}{n} = \frac{5}{7} \text{ секунд.}$$

Следовательно, общее количество пик будет

$$\frac{4,2 \times 7}{5} = 6 \text{ пик за год}^1.$$

Таким образом и вторая часть основной задачи является решенной.

Значит общий метод подбора мощности подстанций может быть рекомендован следующий:

- 1) установить, какие поезда, в каком количестве являются расчетными для данной подстанции,
- 2) в зависимости от средней длины перегона, по графику или путем нахождения  $i_{eff}$  для одного поезда, найти либо  $\beta$ , либо  $\sigma$  и, зная  $i_0$ , определить  $I_{eff}$  на станции,
- 3) зная величину максимальной кратковременной перегрузки, найти, какой придется поставить автомат на подстанции,
- 4) найти, какие случаи могут дать ток более тока автоматов,
- 5) принять в расчет вероятности некоторых ближайших к току автомата случаев, так как большие токи будут обычно иметь слишком ничтожную вероятность,
- 6) зная вероятность пика более тока в автомате, найти общую продолжительность пиков за определенный промежуток времени (месяц, неделя, год),
- 7) определить среднюю длительность пика и число пик за анализируемый период,
- 8) отбросить те из них, которые не сумеют подействовать на автомат.

Если число выпавший не слишком велико,<sup>2</sup> — выбранная по нагреву мощность годится; если же выпавший автомата слишком много, то следует взять пик, который будет давать не слишком много выпавший автомата, и, разделив его на максимальный коэффициент перегрузки, принять эту величину за мощность установки.

*Н. Н. Костромитин.*

<sup>1</sup> Надо иметь в виду, что чрезвычайно кратковременные совпадения, благодаря самоиндукции, могут и не привести к выпадению автоматов, даже если автомат и выключается мгновенно. Кроме того, иногда (напр. на пригородной дороге с густым графиком) уласть регламентировать движение, чтобы избежать совпадений моментов разгона.

<sup>2</sup> Допустимое число выпавший автомата не может быть строго регламентировано, но можно сказать, что автоматы современных установок выпадают около 80 — 150 раз в год, что не слишком отзывается на движении. Надо иметь в виду, что большинство этих выпавший происходит вследствие коротких замыканий в вагонах, обрывах и т. д.

Инж. В. С. Хальфин

**ВЛИЯНИЕ**  
**ХАРАКТЕРИСТИК ГРУЗОВОГО ПОТОКА**  
**НА УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**  
**ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**



## Влияние характеристик грузового потока на условия использования подвижного состава.

Несомненно, что в отношении мощности своего технического оборудования наши железные дороги сильно отстают от зарубежных; в то же время, а вероятно, отчасти благодаря этому обстоятельству, в отношении использования перевозочных средств, в частности подвижного состава, у нас достигнуты результаты значительно лучшие, чем за границей: если за границей при недостатке вагонов или паровозов вопрос решался просто — приобретением новых, то русские эксплуатационники, не имея для этого средств, задавались целью один вагон или паровоз обернуть два раза. В результате трудами именно русских инженеров создана теория эксплуатации перевозочных средств, как научная дисциплина.

Согласно цифр, приведенных инж. С. Н. Кульжинским в докладе последнему Советательному Съезду представителей Служб Эксплуатации, если степень использования рабочего товарного вагона по нагрузке и пробегу в России в последние перед войной годы принять за 1, то для С.-Амер. С. Штатов и Франции она выразится около  $\frac{1}{2}$ , а для Германии —  $\frac{2}{3}$ , другими словами, для той работы, для которой у нас требуется один вагон, за границей потребовалось бы  $1\frac{1}{2}$ —2 вагона и соответствующее увеличение вместимости станционных путей.

В настоящее время в отношении качества использования подвижного состава мы подошли к результатам наиболее блестящих по эксплуатации последних перед войной лет, тем не менее нельзя считать, что окончательное слово в этом отношении сказано и дальнейшие успехи невозможны.

Однако, обязательной для этого предпосылкой является научная организация перевозок, а эта последняя в первую очередь требует установления тех значений качественных измерителей утилизации подвижного состава, которые являются нормальными при данных объективных для каждой дороги или участка условиях, т. е. установления *стандартов*.

На эту точку зрения стал и Научно-Технический Комитет, и XXII Советательный Съезд представителей Сл. Эксплоатации, который в одном из пунктов своего постановления по докладу автора говорит: „Выработка стандартных норм отдельных элементов работы подвижного состава должна составить неотложную и весьма существенную задачу научной организации эксплуатации дорог“.

Действительно, те или иные достижения эксплуатации являются результатом как субъективных, зависящих от воли и умения руководителей и исполнителей работы, факторов, так и тех условий, которые, являясь для руководителей эксплуатации заданными, ни от разумной организации перевозок, ни от качества работы исполнителей не зависят и которые мы называем факторами *объективными*.

Эти объективные факторы в свою очередь по их характеру можно разделить на две категории.

К первой относится *технические*, зависящие от мощности технического оборудования дороги (профиль и план пути, расположение, путевое развитие и оборудование остановочных пунктов, депо, мастерских, складов, тип обращающихся паровозов) и отчасти от климатических условий; поскольку эти факторы неизменны для данной дороги или участка (а изменяются они редко), возможны на длительный период изучение и оценка их влияния на результаты эксплуатации.

Ко второй категории относятся факторы *экономические*, которые изменяются не только в пространстве, но и во времени, и для оценки влияния которых необходимо иметь и стандарты, изменяющиеся вместе с изменением этих факторов; такими экономическими факторами являются условия, зависящие от грузового потока: его густота или мощность, дальность пробега груза, равномерность потока во времени, конфигурация потока и распределение отдельных струй в нем, соотношение в грузовом потоке вывоза, ввоза и транзита, и наконец, соотношение родов перевозимых грузов в связи с дальностью пробега каждого из них.

Если влияние технических факторов является для данной дороги или участка сравнительно неизменным, то влияние вышеперечисленных характеристик грузового потока изменяется более или менее ощутительно не только по годам и сезонам, но и по отдельным месяцам, декадам и даже дням, соответственно чему должны изменяться и самые стандарты.

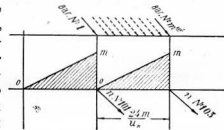
Настоящая статья имеет целью выяснить влияние характеристик грузового потока на условия эксплуатации подвижного состава.

#### А. Мощность грузового потока.

Большая или меньшая мощность грузового потока существенно отражается на условиях и результатах эксплуатации дороги: здесь, как и во всяком производстве, чем больше размер продукции, т.-е.

чем более массовым является данное производство, тем больше возможности применять некоторые приемы, целесообразные лишь при массовом характере производства, тем более используется мощность оборудования и личный состав и тем дешевле обходится единица продукции.

В частности, по отношению к вагонам, мощность грузового потока прежде всего отражается на среднем простое вагонов в ожидании накопления на полный состав поезда. Если  $u_k$  есть суточное число вагонов некоторого  $k$ -го назначения формирования поездов, т.е. выраженная в вагонах густота грузового потока этого назначения, а  $m$ —средний состав поезда, то  $N_k = \frac{u_k}{m}$  выразит суточное число поездов этого назначения, а  $24 : N_k = \frac{24m}{u_k}$  есть средний промежуток времени между двумя смежными поездами этого назначения, в предположении равномерного втечение суток их отправления, другими словами,—время накопления вагонов на полный состав поезда; время это тем больше, чем больше состав поезда  $m$  и чем меньше густота потока  $u_k$ ; поэтому, между прочим, применение более мощных паровозов, увеличивая  $m$ , увеличивает и простой при накоплении до полного состава, и при этом, с уменьшением вагонооборота данного назначения  $u_k$ , может довести простой до величины, превышающей допустимую в зависимости от уставных сроков доставки норму, и привести к отпавлению неполновесных поездов; по этим причинам применение таких паровозов и является при малых размерах движения невыгодным.



Фиг. 1.

Если  $\frac{24m}{u_k}$  (фиг. 1) есть полное время накопления, то в предположении равномерного притока вагонов, для вагона № 1, поступившего на соответствующий путь сортировочного парка в момент увода с этого пути состава поезда № 101, время простоя до увода состава следующего поезда № 103 составит  $24 \frac{m}{u_k}$  час, а для вагона №  $m$ -й, поступившего на сортировочный путь перед самым моментом увода с этого пути состава поезда № 103, время простоя = 0, для среднего же вагона время простоя при накоплении составит:

$$\tau_{\text{нак}} = \frac{24 \frac{m}{u_k} + 0}{2} = 12 \frac{m}{u_k} \dots \dots \dots (1).$$

Форм. (1) выражает простой при накоплении  $\tau_{\text{нак}}$  в функции суточной густоты определенной, соответствующей самостоятельному назначению формирования поездов, струи грузового потока числом вагонов  $u_k$ ; как видно, простой этот обратно пропорционален густоте потока.

Такая зависимость простая при накоплении от мощности потока, независимо от своего непосредственного влияния на общий оборот и потребность вагонов на дороге, обуславливает решение вопроса о выгодности формирования специализированных поездов определенных назначений.

Действительно, выгодность, в отношении оборота вагонов, выделения некоторой струи грузового потока в специализированные поезда определяется условием:

$$\frac{12m}{u_k} < \frac{l}{L_c} (\tau_c - \tau_g) \dots \dots \dots (2)$$

где  $m$  и  $u_k$  имеют прежние значения.

- $l$  — дальность пробега специализированного поезда,
- $L_c$  — среднее расстояние между сортировочными станциями,
- $\tau_c$  — средний простой вагонов на сортировочной станции при переформировании поездов,
- $\tau_g$  — тоже, в случае прохода прямого поезда без переформирования.

При данных значениях величин  $m$ ,  $L_c$ ,  $\tau_c$  и  $\tau_g$ , неравенство это обращается в такое:

$$u_k l > A \dots \dots \dots (3)$$

где  $A = \frac{12 \cdot m \cdot L_c}{\tau_c - \tau_g}$  и имеет определенное численное значение, составляющее, в зависимости от числа групп отдельных назначений в неспециализированных поездах, от 13.000 до 23.000 ваг.-км при изменении числа групп от  $\frac{m}{2}$  до  $2^1$ .

Таким образом, при данном  $l$ , величиною  $u_k$  определяется выгодность формирования специализированного поезда, могущая дать выгоду вагоно-дней и паровозо-часов маневровой работы.

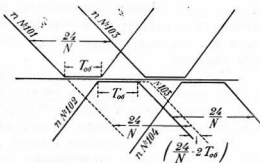
Далее, густота движения числом поездов  $N$  влияет на простой паровозов или составов на станциях оборотных депо.

Следующий схематический подсчет показывает характер этого влияния.

<sup>1</sup> По этому вопросу см. В. С. Хальфин: «К вопросу о маршрутизации». — Жел. Дело». (Экспл.), № 10—11, 1926 г.

Предположим, что через станцию оборотного депо проходит ежедневно  $N$  пар поездов; тогда средний промежуток между двумя поездами одного направления составит  $24/N$  час., таков же будет и промежуток между моментами готовности к обратному следованию, после минимального необходимого простоя  $T_{об}$ , паровозов от этих поездов.

Если мы условимся отправлять без задержки поезда одного какого-либо, напр., четного направления, то для поездов другого направления простой составил бы (как видно на фиг. 2)  $2 T_{об}$  часов, и, в силу закона однопутного графика о равенстве суммы простоев



Фиг. 2.

скрещивающихся поездов сумме их интервалов, для каждой пары поездов простой составил бы ту же величину. В действительности, в зависимости от конфигурации пассажирских поездов и других обстоятельств, не всегда возможно согласовать таким образом отправленные товарных, чтобы простой составов был всегда минимальным, и надо считать, что в самом благоприятном случае он близок к 0, а в самом неблагоприятном, когда к моменту прибытия состава только что ушел предыдущий поезд, —  $\frac{24}{N}$ , в среднем же  $\frac{12}{N}$  час.

Если бы мы решили отправлять поезда обоих направлений без задержки, не считаясь с простоем паровозов, то для поездов одного из направлений пришлось бы задерживать паровозы сверх минимального необходимого времени  $T_{об}$  (паровоз из-под поезда № 102 задержан для п. № 103, как указано пунктиром на фиг. 2), при чем простой каждого паровоза сверх времени  $T_{об}$  составил бы  $\left[ \frac{24}{N} - T_{об} \right]$  час.

Таким образом, как в случае задержки составов, так и в случае задержки паровозов, величина этой задержки тем больше, чем меньше густота движения числом поездов  $N$ . Очевидно, правильность этого расчета распространяется лишь на значения  $N$ , меньшие  $N = \frac{24}{2T_{об}}$ , так как при этом значении величина  $\frac{24}{N} - 2T_{об}$  обращается в 0, и при густоте движения, большей  $N = \frac{24}{2T_{об}}$ , изменение  $N$  не влияет заметно на простой составов и паровозов на станциях оборотных депо.

Следует отметить еще влияние размеров движения на использование маневровых паровозов.

Влияние это сказывается не только в неизбежных простоях этих паровозов в промежутке между поездами при слабом движении, но и в том обстоятельстве, что в случае подачи или уборки вагонов большими группами к одним и тем же местам грузовых работ и т. п., за один рейс паровоза передвигается большее количество вагонов; при единичных же подачах для передвижения одного — двух вагонов требуется такой же, как и при передвижении целой группы, пробег маневрового паровоза.

Если увеличение густоты движения благоприятно отражается на простое вагонов и паровозов, уменьшая его, то, наоборот, на коммерческую скорость поездов увеличение густоты движения оказывает противоположное влияние, главным образом на однопутных линиях.

Проф. Ю. В. Ломоносов в своих „Научных проблемах эксплуатации“, на основании исследования этого вопроса на Ташкентской жел. дор., дает для выражения зависимости между числом поездов  $N$  и коммерческой скоростью  $v_k$  для однопутной линии уравнение:

$$v_k = A - BN,$$

где  $A$  и  $B$  — параметры, различные для каждого участка.

Проф. И. П. Васильев в своем исследовании о коммерческой скорости движения поездов приходит к зависимости между коэффициентами заполнения графика  $\gamma$  и коэффициентом коммерческой скорости  $\beta$  в виде гиперболы:

$$\beta = \frac{-(B+\gamma) \pm \sqrt{(B+\gamma)^2 - 4C(A-\gamma)}}{2C},$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  — параметры, отдельные для каждого участка, определяемые путем построения графиков.

Для разобранных этим исследователем пяти графиков при изменении  $\gamma$  от 0,9 до 0,3,  $\beta$  изменяется от 0,4 до 0,8.

При этом, построение кривых зависимости  $\beta$  от  $\gamma$  показывает, что, при значениях  $\gamma < 0,5$  коммерческая скорость незначительно падает с увеличением  $\gamma$ , при значениях  $\gamma$  от 0,5 до 0,75 падение это значительнее, и при  $\gamma > 0,75$  происходит резкое падение коммерческой скорости.

К гиперболическому виду кривой, выражающей зависимость  $v_k$  от  $N$  для однопутного графика, нас также приводят следующие простые чисто теоретические соображения.

Если  $t_c$  час. есть средняя задержка какого-либо поезда при скрещении, и при движении в  $N$  пар каждый поезд имеет на протяжении участка длиной  $L$  таких скрещений  $k$ , то при увеличении движения до  $N_1$  пар число скрещений будет  $\frac{N_1}{N} k$ , а сумма простоев

этого поезда при скрещениих —  $\frac{N_1}{N} \cdot k \cdot t_c$  часов, коммерческая же скорость этого поезда будет:

$$v_k = \frac{L}{T_0 + \frac{N_1}{N} \cdot k \cdot t_c},$$

где  $T_0$  — время хода поезда по участку за вычетом задержек при скрещениих.

Так как в этом уравнении величины  $L$ ,  $T_0$ ,  $N$ ,  $k$ ,  $t_c$  — постоянные, а переменные лишь  $v_k$  и  $N_1$ , то общий вид этого выражения:

$$v_k = \frac{A}{B + CN_1}, \dots \dots \dots (4)$$

г.-е. уравнение гиперболы.

Падение коммерческой скорости вообще отражается заметнее на обороте паровозов, чем на обороте вагонов, значительную часть которого составляют простои по разным причинам вне поездов.

## Б. Дальность перевозки.

Дальность пробега груза непосредственно отражается на обороте и среднем суточном пробеге рабочего вагона.

Для выражения оборота через составляющие его элементы воспользуемся формулой проф. И. И. Васильева, рекомендованной в 1921 г. НКПС:

$$\Theta = \Delta \left[ \frac{1}{24} \left( \frac{1}{v_k} + \frac{\tau_g}{L_g} + \frac{\tau_c}{L_c} \right) (1 + \alpha) l + \tau_0 \right] \dots \dots \dots (5)$$

где:

- $\Theta$  — оборот рабочего вагона в сутках,
- $v_k$  — коммерческая скорость поездов,
- $L_g$  и  $L_c$  — среднее расстояние между деповскими и между сортировочными станциями,
- $\tau_g$  и  $\tau_c$  — средний простой в часах вагона при прохождении деповских и сортировочных станций,
- $\alpha$  — отношение порожнего пробега к груженому,
- $l$  — дальность рейса груженого вагона<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> В форм. (5) фигурирует дальность рейса груженого вагона  $l$ ; величина эта вообще не тождественна с дальностью пробега груза  $l_p$ , но связана с нею зависимостью  $l \cdot p_p = l_p \cdot p_c$ , где  $p_p$  — средняя динамическая нагрузка груженого вагона, а  $p_c$  — средняя статическая нагрузка; поэтому при постоянном соотношении  $\frac{p_c}{p_p}$  — величина  $l$  пропорциональна  $l_p$ .

$\tau_0$  — средний простой в сутках вагона на начальной и конечной станциях (в сумме).

$\Delta$  — некоторый коэффициент, больший единицы, выражающий отношение практически достижимого оборота к теоретическому.

Считая в форм. (5) независимой переменной  $l$ , а остальные величины постоянными, имеем между  $\mathfrak{D}$  и  $l$  зависимость в виде прямой:

$$\mathfrak{D} = A'(1 + \alpha)l + B$$

или

$$\mathfrak{D} = Al + B, \dots \dots \dots (5-a)$$

где

$$A = A'(1 + \alpha) = \frac{\Delta}{24} \left( \frac{1}{v_k} + \frac{\tau_g}{L_g} + \frac{\tau_c}{L_c} \right) (1 + \alpha) \text{ и } B = \Delta \tau_0.$$

Величина среднего суточного пробега  $s$  связана с величиной оборота зависимостью:

$$\mathfrak{D}s = (1 + \alpha)l, \dots \dots \dots (6)$$

откуда

$$s = \frac{(1 + \alpha)l}{\mathfrak{D}}.$$

Подставляя вместо  $\mathfrak{D}$  его выражение из форм. (5).

имеем:

$$s = \frac{(1 + \alpha)l}{A'(1 + \alpha)l + B} = \frac{1}{A' + \frac{B}{(1 + \alpha)l}} = \frac{1}{A' + \frac{C}{l}} \dots \dots (7)$$

где

$$C = \frac{B}{1 + \alpha},$$

т.-е. уравнение гиперболы.

Таким образом, мы видим, что, по мере увеличения дальности перевозки, возрастает и оборот вагона  $\mathfrak{D}$ , но в то же время повышается и средний суточный пробег вагона  $s$ , т.-е. использование вагонов во времени улучшается; это и понятно, так как чем больше расстояние перевозки, тем меньшую часть от общего времени оборота составляют мертвые простои вагона на начальной и конечной станциях ( $\tau_0$ ).

Задавшись для примера значениями:

$$\Delta = 1,3; \quad v_k = 13 \text{ км/ч}; \quad \tau_g = 4 \text{ ч}; \quad \tau_c = 12 \text{ ч};$$

$$L_g = 100 \text{ км}; \quad L_c = 300 \text{ км}; \quad \alpha = 0,35; \quad \tau_0 = 3 \text{ сут};$$

имеем:

$$A' = 0,0085; \quad A = 0,0115; \quad B = 3,9; \quad C = 2,9$$

Тогда:

$$\vartheta = 0,0115 l + 3,9$$

$$s = \frac{l}{0,0085 + \frac{2,9}{l}}$$

Задаваясь для  $l$  величинами от 0 до 600, получим следующие значения:

$$\begin{aligned} l &= 0; 100; 200; 300; 400; 500; 600. \\ \vartheta &= 3,9; 5,0; 6,2; 7,3; 8,5; 9,6; 10,8. \\ s &= 0; 27; 44; 54; 63; 70; 75. \end{aligned}$$

Из приведенных цифр видно, что при последовательном увеличении  $l$  ст 0 до 100, от 100 до 200 и т. д. приращение  $\vartheta$  остается постоянно равным 1,15 сут., в то время, как  $s$  увеличивается на 27, 17, 10, 9, 7 и 5 км, т.-е. вначале возрастает весьма быстро, а при больших значениях  $l$  приращение  $s$  становится более медленным.

Помимо непосредственного влияния на величины  $\vartheta$  и  $s$ , дальность перевозки  $l$ , как видно из форм. (3), в такой же мере обуславливает выгодность формирования специализированных поездов, как и густота потока определенного назначения  $u_k$ .

### В. Равномерность потока по времени.

Равномерность грузового потока по отдельным периодам оказывает весьма большое влияние на условия эксплуатации; если мощность грузового потока в отдельные периоды (месяцы, дни) мало отличается от средней годовой его мощности, то и элементы пропускной и провозной способности могут быть рассчитаны на эту среднюю мощность потока; наоборот, при значительных колебаниях, если рассчитать пропускную и провозную способность по наибольшим размерам потока, то она окажется неиспользованной в периоды его ослабления; при этом, если периоды колебаний мощности грузового потока незначительны (отдельные дни), то изменение пропускной и провозной способности в соответствии с этими колебаниями невозможно, средства остаются неиспользованными, что в общем удорожает эксплуатацию.

При рассмотрении форм. (5) мы видели, что для получения практически достижимой величины оборота необходимо теоретически исчисленный оборот помножить на коэффициент  $\Delta$ , больший единицы.

На величину этого коэффициента, повышающего теоретический оборот, главное влияние оказывает неравномерность работы по отдельным дням. Действительно, расчетная величина работы  $u$  определяется, как средняя за ряд дней (месяц, декаду), но в отдельные дни работа бывает больше или меньше средней величины, в частности погрузка падает в праздничные и предпраздничные дни, а прием зависит от

условий работы соседних дорог; поэтому рабочий парк вагонов  $n$  должен удовлетворять работе  $u_{max}$  в дни наибольшего ее значения, и тогда  $\vartheta_{min} = \frac{n}{u_{max}}$  меньше, чем  $\vartheta = \frac{n}{u}$ ; в дни наибольшего падения работы до  $u_{min}$ ,  $\vartheta_{max} = \frac{n}{u_{min}}$  больше, чем  $\vartheta = \frac{n}{u}$ , снизить же парк до соответствия с работой, т. е. до величины  $n_{min} = \vartheta_{min} u_{min}$  на один-два дня с тем, чтобы потом вновь его увеличить, — в общем случае не представляется возможным.

Пусть, для примера, средняя суточная работа отделения дороги за некоторый период (неделю, декаду) составляет:

$u = 435$  вагонов при исчисленном теоретическом обороте  $\vartheta_0 = 5,8$  суток; в праздничные дни работа падает значительно ниже 435 вагонов, в некоторые другие дни поднимается до  $u_{max} = 540$  ваг. средней работе  $u = 435$  при  $\vartheta_0 = 5,8$  соответствует рабочий парк  $n = 435 \times 5,8 = 2523$  ваг., в те же дни, когда работа повышается до 540 ваг., необходим рабочий парк  $n_{max} = 540 \times 5,8 = 3132$  ваг.; так как быстрое изменение парка на отдельные дни в соответствии с колебаниями работы вообще невозможно, то на весь период приходится держать парк в 3132 ваг., а при таком парке и при средней за период работе в 435 ваг. фактический оборот составит:  $\vartheta = \frac{3132}{435} = 7,2$ ;

следовательно, в данном случае  $\Delta = \frac{7,2}{5,8} = 1,24$ .

Из сказанного видно, что, если бы возможно было добиться идеально равномерной работы по дням, то можно было бы работать парком, на 20—30% меньшим, чем в действительности; поэтому, насколько возможно, к уменьшению колебаний работы по отдельным периодам и дням необходимо стремиться путем организации праздничных работ технической регулировки размеров погрузки и т. д.

Неравномерность движения, помимо своего влияния на использование перевозочных средств, ввиду невозможности из-за колебаний содержать таковые в размерах, соответствующих средней работе, вызывает в известных случаях, при необходимости переброски подвижного состава, в соответствии с изменяющимися размерами движения на разных участках, также и излишний пробег вагонов и паровозов; если переброска вагонов требуется в направлении грузового течения, то она может быть выполнена путем уменьшения отправления порожняка по порожнему течению; если переброска вагонов требуется в направлении порожнего течения, то вагоны эти приходится перегонять в порожнем состоянии, каковая операция требует увеличения вагонного парка на  $\frac{1}{24} \left( \frac{1}{V_k} + \frac{t_g}{L_i} + \frac{\tau_e}{L_c} \right) u_0 l_0$  единиц, где  $u_0$  — количество

ежедневно перегоняемых сверх равночисленного в обе стороны движения порожних вагонов, а  $l_0$  — дальность их пробега, а остальные обозначения имеют то же значение, что и в формуле (5).

При этом, пока  $u_0 < \frac{\Sigma'p - \Sigma''p}{q}$ , где:  $\Sigma'p$  и  $\Sigma''p$  — вес груза, перевозимого в сутки в грузовом и в обратном направлениях,  $q$  — вес тары вагона, — производительного пробега одиночных паровозов для перегонки порожняка не требуется, когда же  $u_0$  достигает величины  $\frac{\Sigma'p - \Sigma''p}{q}$ , то требуется крайне невыгодный одиночный пробег паровозов в грузовом направлении.

### Г. Конфигурация грузовых потоков.

Под конфигурацией грузовых потоков будем здесь иметь в виду, с одной стороны, соотношение между размерами грузовых потоков грузового и обратного направлений, а с другой стороны — соотношение между отдельными струями потока одного направления.

Если  $\Sigma'p$  тонн груза перевозится в направлении прямом (от  $A$  к  $B$ ), а  $\Sigma''p$  — в обратном (от  $B$  к  $A$ ), при чем  $\Sigma'p > \Sigma''p$ , чем и обуславливается грузовое и порожнее направления<sup>1</sup>, то очевидно, что при равномерном движении все то количество вагонов и паровозов, которое прошло из  $A$  в  $B$ , должно вернуться обратно, при чем, так как  $\Sigma''p < \Sigma'p$ , часть вагонов от  $B$  до  $A$  пройдет порожним, а часть паровозов — одиночными. Если  $\Sigma'(ns)_{ip}$  и  $\Sigma''(ns)_{ip}$  — груженный пробег вагонов в грузовом и обратном направлениях, то нормальный порожний пробег вагонов в обратном направлении составит:

$$\Sigma'(ns)_{ip} - \Sigma''(ns)_{ip} = \Sigma(ns)_{nop}, \text{ а величина: } \alpha = \frac{\Sigma(ns)_{nop}}{\Sigma(ns)_{ip}}$$

представит нормальное отношение порожнего пробега вагонов к груженому.

Очевидно чем ближе к равенству грузовые потоки обоих направлений  $\Sigma'p$  и  $\Sigma''p$ , тем выгоднее используются перевозочные средства и тем большая работа может быть выполнена тем же количеством подвижного состава. Если  $\Sigma'p = \Sigma''p$ , то порожнего пробега нормально быть не должно и  $\alpha = 0$  (полное двустороннее движение); если  $\Sigma''p = 0$ , то  $\alpha = 1$  (чисто одностороннее движение); это есть максимальное значение  $\alpha$ ; при равномерном по дням движении превышение этого значения указывает на дефекты в распорядительных действиях.

<sup>1</sup> В зависимости от рода грузов, допускающих большую или меньшую нагрузку (по весу) в вагон, может оказаться, что перевозка прямых грузов потребует меньшего числа груженных вагонов, чем перевозка обратных грузов, и порожняк будет нормально идти в прямом для грузов направлении, поэтому иногда различают прямое и обратное направление для грузов, и груженое и порожнее — для вагонов.

Влияние двусторонности движения на величины оборота  $\vartheta$  и среднего суточного пробега  $s$  рабочего вагона выражается формулами: (5-а) и (7):

$$\vartheta = A'(1 + \alpha)l + B \text{ и } s = \frac{1}{A' + \frac{B}{(1 + \alpha)l}}.$$

Приняв значения параметров  $A' = 0,0085$ ;  $B = 3,9$  и задавшись, для примера величиной  $l = 400$  км, можем проследить изменение  $\vartheta$  и  $s$  при изменении  $\alpha$ :

$$\begin{array}{l} \alpha = 0 ; 0,25; 0,50; 0,75; 1 \\ \vartheta = 7,30; 8,15; 9,0 ; 9,85; 10,70 \\ s = 55 ; 61 ; 67 ; 71 ; 74 . \end{array}$$

Из характера зависимости видно, что с увеличением  $\alpha$  возрастает  $\vartheta$  по закону прямой, а  $s$  до значений  $\alpha = 0,5$  быстрее, после  $\alpha = 0,50$  — более медленно.

Так как формулы, выражающие размер возможной суточной работы числом погруженных и принятых груженых вагонов имеют общий вид:  $u = \frac{D}{1 + \alpha}$  (так, при заданном рабочем парке паровозов  $M$ :  $u = \frac{MSm'}{(1 + \alpha)l}$ , где  $S$  — средний суточный пробег рабочего паровоза, а  $m'$  — средний состав поезда в грузовом направлении; при заданной пропускной способности  $N_0$  пар поездов  $u = \frac{2m'N_0}{(1 + \alpha)}$  и т. д.), то, уменьшая  $\alpha$ , можно при необходимости ограничивать работу в зависимости от наличных средств и при этом выполнить большую работу, чем при значении  $\alpha$ , определяемом естественным соотношением грузовых потоков по направлениям; для этого необходимо распределить возможную по наличию средств работу по направлениям, стремясь назначить работу для обоих направлений по возможности одинаковой. При этом возможны два случая. Если ограниченная работа  $u < 2u''_0$ , где  $u''_0$  — потребная работа в порожнем направлении, то, ограничив работу в каждом направлении величиной  $\frac{u}{2} < u''_0$ , получим полную двусторонность движения,  $\alpha$  примет значения 0, а вместе с  $\alpha$  станет равно 0 и нормальное отношение  $\beta_1$  непроизводительного линейного пробега паровозов, вызываемого непарностью движения, к поезднему пробегу; при этом использование средств окажется наиболее выгодным. Если  $u > 2u''_0$ , то прежде всего определяем необходимые средства для двустороннего движения при работе  $u''_0$  вагонов в грузовом и столько же в порожнем направлении, при полной двусторонности ( $\alpha = \beta_1 = 0$ ), а оставшиеся средства используем для дополнительной работы в грузовом направлении при значении  $\alpha = 1$ .

Если все поезда порожнего направления следуют в полных по весу составах  $Q$ , то  $\beta_1$  легко определится в зависимости от  $\alpha$  из сопоставления равенств:  $\beta_1 = \frac{2\Sigma'NL - \Sigma NL}{\Sigma NL}$ ;  $\Sigma'NL = (p_{ip} + q) \frac{\Sigma ns}{2Q}$ ;  $\Sigma NL = (p + q) \frac{\Sigma ns}{Q}$ , откуда  $\beta_1 = \frac{\alpha p_{ip}}{p_{ip} + q + \alpha q} = \frac{\alpha p}{p + q}$ . Если длина поездов порожнего направления ограничена вместимостью разъездных путей  $m_0$ , то  $\beta_0 = \frac{\frac{\Sigma'ns}{m'} - \frac{\Sigma'ns}{m_0}}{\frac{\Sigma'ns}{m'} + \frac{\Sigma''ns}{m_0}}$ .

Здесь  $\Sigma'NL$  и  $\Sigma NL$  — пробег поездов в грузовом направлении и общий,  $p_{ip}$  — средняя нагрузка груженого вагона,  $q$  — вес тары вагона,  $\Sigma ns$  — пробег вагонов общий,  $\Sigma'ns$  и  $\Sigma''ns$  — пробег вагонов в грузовом и обратном направлениях,  $p = \frac{p_{ip}}{1 + \alpha}$  — средняя нагрузка рабочего вагона.

Пусть, например, потребная работа в грузовом направлении 1500, в порожнем — 900, а всего 2400 ваг., при  $\alpha = 0,25$ ; рабочий парк  $n = 8.000$  ваг., оборот, в зависимости от составляющих его элементов, при дальности рейса  $l = 160$  км и коэффициенте работы  $\Delta = 1,2$ ,  $\tau_g = 2$  ч.,  $\tau_c = 6$  ч.,  $v_k = 15 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ,  $L_g = 150$  км,  $L_c = 300$  км и  $\tau_0 = 2,5$  сут., составляет  $\mathfrak{D} = 1,2 \left[ \frac{1}{24} \left( \frac{1}{15} + \frac{2}{150} + \frac{1}{300} \right) (1 + \alpha) \cdot 160 + 2,5 \right] = 0,8(1 + \alpha) + 3 = 4$  суток. Если распределить возможную работу между направлениями пропорционально потребности, то возможная работа составит:  $\frac{8000}{4} = 2000$  ваг., т.е.  $\frac{5}{6}$  потребности, из них 1250 в грузовом и 750 в обратном направлениях. Распределим эту работу так: в грузовом и обратном направлениях будем отправлять по 900 ваг. при  $\alpha = 0$ , на что при обороте  $\mathfrak{D} = 0,8 + 3 = 3,8$  сут. потребуется  $2 \times 900 \times 3,8 = 6840$  ваг., а остальными  $8000 - 6840 = 1160$  вагонами обслужим дополнительную работу грузового направления (при  $\alpha = 1$  и соответственно  $\mathfrak{D} = 0,8 \times 2 + 3 = 4,6$  сут.) в размере  $\frac{1160}{4,6} = 252$  ваг., а всего  $1800 + 252 = 2052$ ; таким образом в этом случае работа может быть выполнена большая на 52 ваг., чем при пропорциональном ее ограничении.

Возьмем другой пример. Пусть при той же потребной работе, что и в предыдущем примере,  $m = 40$  ваг.,  $l = 160$  км, возможный суточный расход топлива  $E = 1800$  куб. м дров, расход его на 100 поездокилометров и на 100 паровозкилометров:  $e = 16$  куб. м,  $e_0 = 10$  куб. м; в зависимости от  $\alpha = 0,25$ ,  $p_{ip} = 12$ ,  $q = 7,5$  — при полновесности по-

ездов порожнего направления определится  $\beta_1 = \frac{\alpha p_{1p}}{p_{1p} + q + \alpha q} =$   
 $= \frac{0,25 \times 12}{12 + 7,5 + 0,25 \times 7,5} = 0,14.$

Тогда возможная работа  $u = \frac{10 \times 40 \times 180}{1,25(16 + 0,14 \times 10) \times 160} = 2070$  ваг.;  
 для двусторонней работы в  $2 \times 900$  ваг. при  $\alpha = \beta_1 = 0$  потребуется  
 дров:  $\frac{2 \times 900 \times 160 \times 16}{40 \times 100} = 1152$  куб. м; остальные  $1800 - 1152 =$   
 $= 648$  куб. м могут обслужить при одностороннем движении ( $\alpha = 1,$   
 в зависимости от чего  $\beta_1 = \frac{12}{12 + 7,5 + 7,5} = 0,44$ ) дополнительно ра-  
 боту грузового направления в:  $\frac{100 \times 40 \times 648}{2(16 + 0,44 \times 10) 160} = 394$  ваг., а вся  
 возможная работа составит:  $1800 + 393 = 2194$  ваг., т.-е. на  $2194 -$   
 $- 2070 = 124$  ваг. больше, чем при пропорциональном ограничении.

Что касается соотношения различных струй грузового потока  
 одного направления, то это соотношение определяет число групп  $g$   
 назначений сортировки состава сортируемого поезда.

Число групп  $g$  обыкновенно определяется по формуле, выведенной  
 проф. А. Н. Фроловым на основании теории вероятностей. Если  $m$  —  
 все число вагонов в составе, а  $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_k$  — число вагонов  
 каждого из  $k$  назначений (при чем  $m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_k = m$ ),  
 или числа, пропорциональные числу вагонов каждого назначения  
 (коэффициенты пропорциональности), то число групп:

$$g = m - (m - 1) \frac{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_i^2 + \dots + m_k^2}{(m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_k)^2}.$$

Наибольшее значение  $g$  получается при равноправности назна-  
 чений ( $m_1 = m_2 = \dots = m_i = \dots = m_k$ ), наименьшее при  $(k - 1)$  назначении по  
 одному вагону каждое и одном назначении, равном  $m - (k - 1)$  вагонов.

Время сортировки при паровозных маневрах и разделении состава  
 на навывгоднейшее число частей<sup>1</sup> составляет:

$$T_{\text{сорт}} = a(g - 1) + \frac{bm}{2} + \sqrt{2abmg} \dots \dots \dots (8),$$

где  $a$  и  $b$  — коэффициенты времени маневрового рейса.

При  $a = 4,07$ ;  $b = 0,112$  (по А. Н. Фролову) для состава  $m =$   
 $= 50$  ваг. при изменении  $g$  от 2 до  $g = m = 50$ , время сортировки,  
 исчисленное по формуле (8), изменяется от 15 м. до 4 ч. 03 м.

Таким образом, влияние соотношения отдельных струй грузовых  
 потоков на время сортировки, а следовательно на простой вагонов и  
 расход маневровых средств, может быть весьма существенно.

<sup>1</sup> По этому вопросу см. И. И. Васильев: „Эксплуатация станций“.

Поэтому, весьма важно уменьшать, насколько возможно, число групп, распределяя по станциям назначения погруженные вагоны с массовыми однородными грузами (уголь, руда, хлебные грузы и т. п.) так, чтобы номера вагонов, стоящие случайно вместе, адресовались на одну и ту же станцию, образуя готовую группу. Такая система, как справедливо отмечает проф. В. А. Соколов в своем курсе „Организации перевозок“, могла бы с успехом применяться в настоящее время, когда большинство массовых грузов принадлежит не частным лицам, а правительственным организациям и учреждениям.

Наконец, следует отметить влияние еще одного обстоятельства: это вопрос о совпадающих или противоположных течениях различных типов подвижного состава, что отражается на пробеге одиночных паровозов.

Если  $u'_{кр}$  и  $u'_{пл}$  — количество груженых крытых и платформ, проходящих ежедневно в грузовом для крытых направлении,  $u''_{кр}$  и  $u''_{пл}$  — то же в обратном направлении,  $u^0_{кр} = u'_{кр} - u''_{кр}$  и  $u^0_{пл} = u'_{пл} - u''_{пл}$  (при чем  $u^0_{пл}$  может быть и отрицательной величиной) — количество порожних крытых и платформ, проходящих в обратном грузовому направлению для равновесия парков, то общий вес брутто, проходящий в грузовом направлении составит:

$$(u'_{кр} + u'_{пл}) (p_{кр} + q),$$

а в обратном:

$$(u''_{кр} + u''_{пл}) (p_{кр} + q) + (u^0_{кр} + u^0_{пл}) q.$$

Разность этих величин, равная:

$$[(u'_{кр} - u''_{кр}) + (u'_{пл} - u''_{пл})] p_{кр}$$

обуславливает ненарность движения и одиночный пробег паровозов; в виду того, что  $u'_{кр} > u''_{кр}$  и  $u'_{кр} - u''_{кр} > 0$ , разность эта получит меньшее значение тогда, когда  $u'_{пл} - u''_{пл} < 0$ , т. е. когда грузовое направление платформ противоположно грузовому направлению крытых.

#### Д. Соотношение между транзитом, ввозом и вывозом.

По отношению к определенной дороге перевозки разделяются на местное и прямое сообщения, при чем перевозки прямого сообщения в свою очередь делятся: на ввоз, когда груз следует с чужой дороги назначением на данную дорогу; вывоз, когда груз из пределов данной дороги следует назначением за ее пределы на чужую дорогу, и транзит, когда груз, следуя с одной на другую чужую дорогу, проходит по пути своего следования данную дорогу.

Так как перевозки местного сообщения связаны с погрузкой и выгрузкой в пределах данной дороги, а ввоз и вывоз — с одной из этих операций, а операции эти требуют простоя вагонов и вызывают необходимость известных мероприятий по постановке отдельных ваго-

нов с разных станций, а иногда и с тупиков на перегонах, в поезда (вывоз и местное сообщение), между тем как транзитные грузы требуют меньшего времени на прием и сдачу вагонов с этими грузами на пограничных с соседними дорогами станциях, и при том часто поступают на дорогу целыми поездами, уже сформированными, то преобладание транзитных грузов создает более благоприятные условия для эксплуатации дороги, чем преобладание местных перевозок.

Влияние соотношения между этими видами перевозок на оборот вагонов определяется членом  $\tau_0$ , входящим в форм. (5).

Если  $u_{np}$ ,  $u_{cd}$ ,  $u_n$ ,  $u_s$  — количество вагонов, ежедневно принимаемых, сдаваемых, нагружаемых и выгружаемых,  $\tau_{np}$ ,  $\tau_{cd}$ ,  $\tau_n$ ,  $\tau_s$  — средний простой вагона при каждой из этих операций (можно в среднем принять  $\tau_{np} = \tau_{cd} = 0,5$  сут.;  $\tau_n = \tau_s = 1,5$  сут.),

то:

$$\tau_0 = \frac{u_{np} \tau_{np} + u_{cd} \tau_{cd} + u_n \tau_n + u_s \tau_s}{u},$$

где

$$u = u_{np} + u_n \text{ — суточная работа дороги.}$$

Влияние местных перевозок на коммерческую скорость определяется отношением числа сборных, с меньшей коммерческой скоростью, к числу транзитных поездов.

Общая коммерческая скорость:

$$v_k = \frac{v_{cb} N_{cb} + v_{mp} N_{mp}}{N_{cb} + N_{mp}} = \frac{v_{cb} \frac{N_{cb}}{N_{mp}} + v_{mp}}{\frac{N_{cb}}{N_{mp}} + 1} = \frac{\gamma v_{cb} + v_{mp}}{\gamma + 1},$$

где

$v_{cb}$  и  $v_{mp}$  — коммерческая скорость сборных и транзитных поездов,

$N_{cb}$  и  $N_{mp}$  — число тех и других поездов,

$\gamma$  — отношение числа сборных к числу транзитных поездов.

## Е. Род перевозимого груза.

Род перевозимого груза оказывает существенное влияние на использование подъемной силы вагона. Некоторые грузы (легковесные), заполняя всю вместимость вагона, не делают его все же полногрузным (напр., сено, хлопок, мелочные грузы); другие грузы (тяжеловесные), заполняя лишь часть вместимости вагона, дают предельную по весу его загрузку.

Так как средняя нагрузка определяется делением тонно-километров на груженые вагоно-километры, то если легковесные грузы зна-

чительны по количеству или дальности своего пробега, то, независимо от воли отправителя или агентов дороги, они понижают среднюю нагрузку, и наоборот.

Пусть, например, дорога перерабатывает ежедневно 400 ваг. дров с средней нагрузкой 16 т. и пробегом 100 км и 100 ваг. хлопка с нагрузкой 10 т. и пробегом 1.000 км; в этом случае:

$$P_{\text{ср}} = \frac{400 \times 16 \times 100 + 100 \times 10 \times 1.000}{400 \times 100 + 100 \times 1.000} = 11,7 \text{ т.}$$

Если, при том же соотношении грузов по количеству, дальность пробега хлопка составляет 100, а дров—1.000 км, то

$$P_{\text{ср}} = \frac{400 \times 16 \times 1000 + 100 \times 10 \times 100}{400 \times 1000 + 100 \times 100} = 15,8 \text{ т.}$$

Если, наконец, при том же пробеге, что и в первом случае, дров грузится 100, а хлопка—400 ваг., то:

$$P_{\text{ср}} = \frac{100 \times 16 \times 100 + 400 \times 10 \times 1000}{100 \times 100 + 400 \times 1000} = 10,0 \text{ т.}$$

Так как при перевозке мелочных грузов труднее достигнуть полного использования подъемной силы вагонов, чем при перевозке повагонных грузов, а при погрузке нескольких таких отправок в один вагон, необходимо соблюдение известного порядка, чтобы обеспечить их срочное и сохранное следование, то создаются при перевозке мелочных грузов менее благоприятные условия эксплуатации, чем при перевозке грузов повагонных.

Так как массовые повагонные (продовольствие, топливо, руды, лес и т. д.) грузы идут обыкновенно из добывающих районов к потребляющим пунктам (крупным городам), фабрично-заводским центрам и вывозным портам, мелочные же грузы—продукты фабрично-заводской промышленности и импорт—в обратном направлении от городов, фабрично-заводских центров и границ, т.-е. нормально—в направлении, обратном грузовому, то это обстоятельство является весьма благоприятным, потому что неполногрузность вагонов с мелочными грузами имеет, главным образом, место в направлении порожнего течения вагонов.

Все изложенное приводит к заключению, что стандартные значения качественных измерителей утилизации подвижного состава, как-то: простоев, оборотов, средне-суточных пробегов и т. д., являются функциями не только технических условий, сравнительно постоянных

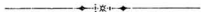
для данной дороги или участка, но и непрерывно меняющихся во времени условий экономического характера, выражаемых размером, характером и конфигурацией грузовых потоков, при чем как при установлении этих стандартов, так и при суждениях о выполненной за некоторый период работы дороги или участка влияние характеристик грузового потока должно быть по возможности полно учтено.

*Инж. В. С. Хальфин.*

---

Инж. П. Я. Гордеенко

РУКОВОДИТЕЛЬСТВО  
ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ  
И ЕГО БЛИЖАЙШИЕ ЗАДАЧИ



## Руководительство грузовыми перевозками и его ближайшие задачи.

На днях, разбирая во время практических занятий методы расчета рабочего вагонного парка, мне пришлось выслушать заявление одного из студентов, что на практике мол никакие формулы для расчета вагонного парка не применяются, а просто суммируются данные из сведений о вагонном парке, сообщаемые отдельными станциями.

Это заявление очень характерно для того отношения, которое до сих пор встречают эксплуатационные вопросы.

Возьмем для примера определение момента сопротивления рельса. Едва ли найдется слушатель ВТУЗ'а, который заявил бы, что это занятие бесполезное, так как на практике ни старший рабочий, ни дорожный мастер, руководящие укладкой рельс, ни даже начальник участка пути, момент сопротивления рельса не рассчитывают, а просто укладывают рельсы принятого на участке типа.

Между тем, в приведенном сравнении можно проследить полную аналогию. Как расчет рельса, так и расчет вагонного парка научно обоснованы и выполняются управлениями дорог и органами Центрального Управления жел.-дор. транспорта. Применение наиболее тяжеловесных рельс в известных случаях является неэкономичным, точно также неэкономично иметь подвижной состав в количестве, превышающем фактическую потребность. Рельс недостаточной мощности может повлечь происшествие и, как следствие, материальный ущерб и замешательство в движении. Недостаток в подвижном составе также принесит дороге ущерб и может вызвать замешательство в выполнении перевозок.

Слабое уяснение некоторыми кругами значения эксплуатации побудило меня осветить в настоящей статье современное положение эксплуатационных проблем и эволюцию, наблюдаемую в эксплуатационных методах.

За время существования нашей железнодорожной сети можно было наблюдать весьма значительные изменения в методах и приемах эксплуатации. В этих изменениях побуждающим обстоятельством обычно являлись отдельные затруднения, возникавшие на дорогах и нарушавшие планомерность выполнения перевозок.

Одновременно с этим, особенно за последние десятилетия, наша техническая литература обогатилась рядом работ по вопросам эксплуатации. В этих работах проведен анализ расчета мощности отдельных элементов железнодорожных сооружений и использования перевозочных средств, а также установлена зависимость между выполняемыми перевозками, с одной стороны, и мощностью оборудования и наличием перевозочных средств с другой стороны. Целью настоящей заметки является проследить, насколько произведенный теоретический анализ увязывается с практикой нашего железнодорожного обихода.

Идея зависимости между размером перевозок, пропускной способностью и наличием перевозочных средств была довольно определенно указана еще в трудах комиссии *Баранова*, начавшей в 1876 г. работу по обследованию состояния нашей железнодорожной сети.

Несмотря на это, еще в течение значительного периода времени работа нашей сети протекала без планомерного руководства. Замятательства в движении возникали периодически, а меры к устранению этих замятательств носили случайный характер.

Чем же было вызвано подобное положение?

Прежде всего приходится иметь в виду, что самое понятие о пропускной и провозной способности было впервые помещено в трудах комиссии *Баранова*. Еще в пятидесятых годах не было введено общих методов расчета пропускной способности по дорогам. Расчеты пропускной способности перегонов производились дорогами различными способами, что же касается до расчетов пропускной способности узлов и станций, то здесь еще труднее проследить какую-либо систему в методах расчета.

То же самое следует сказать и об определении использования перевозочных средств. Установленного, определенного способа расчета потребности подвижного состава не было. Когда в 1888 году, в связи с возникшими на дорогах сети затруднениями, был созван съезд управляющих железными дорогами, то он смог лишь дать огульные цифры недостачи и избытка вагонов и уклонился от рассмотрения вопросов об использовании подвижного состава.

Самая система управления движением на дорогах исключала возможность своевременного и правильного руководства. Никаких распорядительных органов, связывающих управление дороги со станциями, не имелось. При весьма слабо оборудованной и налаженной связи, какое-либо руководство движением по всей дороге из одного центра было совершенно невозможно.

Также приходится иметь в виду, что само Ведомство Путей Сообщения не имело в своем центральном органе такого аппарата, который выполнял бы систематический учет и наблюдение за работой дорог.

Наконец, имелось еще одно весьма существенное обстоятельство: перевозки выполнялись без заранее составленного плана и к выяс-

нению размера перевозок обычно приступали лишь когда уже обнаруживались затруднения с их выполнением.

Для устранения указанных выше ненормальностей было сделано очень много. Расчет пропускной способности линий и узлов научно обоснован и введен в жесткие рамки. Как управления дорог, так и центральные органы ведомства обладают точными данными о пропускной способности отдельных участков и линий, как имеющейся налицо, так и могущей быть достигнутой при открытии всех разъездов и блок-постов. По отдельным узловым пунктам, в связи с их пропускной способностью, установлены нормы обмена между дорогами. Для станций наиболее крупной коммерческой работы выявлена их погрузная и выгрузная способность. Таким образом, имеется возможность установить для любого маршрута предел выполнимого задания на перевозки.

Проведенные исследования и анализ графика движения поездов выявили еще одно весьма существенное обстоятельство, а именно изменение коммерческой скорости движения поездов в зависимости от расположения постов и разъездов, от рода графика, от его насыщенности и от наличия поездов срочного обращения. Таким образом была установлена зависимость коммерческой скорости, одного из наиболее существенных условий использования подвижного состава, от пропускной способности и от методов ее использования.

Вопросы использования перевозочных средств также подвергались научному анализу и всестороннему освещению. Установлены элементы, характеризующие условия работы и использования. Для вагона подобными элементами являются: средняя загрузка вагона, дальность рейса, отношение порожнего пробега к груженому, оборот вагона, средний пробег рабочего вагона и простои вагона на отдельных станциях. Элементами, характеризующими использование паровоза, являются: средний состав поезда, средний пробег рабочего паровоза, отношение вспомогательного пробега паровозов к рабочему пробегу, отношение пробега паровозов в одиночном следовании и в двойной тяге к пробегу во главе поезда, оборот паровоза на депоковом участке и простои в оборотных депо.

Статистический учет работы подвижного состава дает исчерпывающий материал для анализа, а этот последний дает возможность обнаружить недостатки в отдельных отраслях эксплуатации, а также установить размер потребности подвижного состава по ожидаемому грузовому потоку или решить обратную задачу, т.е. определить грузовой поток, который может быть переработан при наличии определенного парка вагонов и паровозов.

Существование зависимости между мощностью технических сооружений, наличием перевозочных средств и размером перевозок, естественно поставило на очередь вопрос о своевременной выработке плана перевозок. Подобные планы вопли сейчас в обиход нашей

железнодорожной работы. Размер ожидаемых на следующий месяц перевозок выясняется на местах путем совещаний с клиентурой, согласованные сведения представляются в управление дороги, которое составляет план работы, частью опираясь на статистические данные о работе за предыдущие месяцы, а частью внося необходимые обоснованные изменения. Выработанный план работы рассматривается и утверждается в районных комитетах. По утверждении плана, управление дороги преподает его к исполнению, задавая нормы приема и сдачи по внешним обменным пунктам, нормы погрузки по отдельным участкам и данные, нормирующие работу подвижного состава, как в отношении размера движения, так и в отношении качества работы.

Установление плана работы дорог сети предусматривает согласованность в работе отдельных дорог, а также между работой дорог и требованиями клиентуры. Для достижения этой согласованности, необходимо иметь особые руководящие органы. Образование особой комиссии из представителей клиентуры и заинтересованных ведомств для планомерного распределения подвижного состава впервые имело место в 1874 году. В этой комиссии были представлены углепромышленники юга, собравшиеся на особом съезде в Харькове. Впоследствии здесь же происходили съезды горнопромышленников и уже в то время планы перевозок рассматривались в годовом масштабе. Эти съезды явились зачатками порайонных комитетов, учрежденных в 1906 году и существующих и в настоящее время под названием районных комитетов по регулированию перевозок.

При центральном органе ведомства особый отдел движения был сформирован в 1891 году. Этот орган подвергся неоднократным преобразованиям и в настоящее время существует в виде эксплуатационного отдела при Центральном Управлении железнодорожного транспорта.

Поступающая в эксплуатационный отдел техническая отчетность дает исчерпывающий материал для суждения о целесообразном использовании подвижного состава. Благодаря этому, отдел может брать на себя регулирование работы дорог, а также их взаимоотношений.

Проведение в жизнь выработанного плана перевозок требовало тесной связи между линией и распорядительными органами. Управления дорог не могли иметь такой связи и были вынуждены создавать особые отделения эксплуатации. Одной из основных обязанностей начальников отделений является руководство перевозками и наблюдение за правильным использованием подвижного состава.

Созданный при начальниках отделений диспетчерский аппарат, при удовлетворительном оборудовании линии телефонной связью, дает возможность диспетчеру иметь непрерывное наблюдение за поездным движением и принимать меры к предупреждению возникновения замешательств в движении.

Теоретический анализ дал возможность подойти не только к выработке плана перевозок и установлению нормы грузовых потоков, но и привел к выработке плана переработки потока отдельными станциями сети. Для решения этого вопроса были использованы нормы, выработанные для определения маневровой работы и простоя вагонов на распорядительных станциях. Уточнить маневровую работу и систематизировать ее выполнение было делом не легким. Маневровая работа весьма разнообразна и условия ее выполнения видоизменяются сообразно с оборудованием станций, размерами грузовых потоков и характером самих заданий работы. Путем анализа удалось установить вероятное число групп в составе поездов подлежащих сортировке и определить число маневровых рейсов при различных методах маневровой работы. С другой стороны произведенные в натуре наблюдения дали возможность установить стандартные нормы маневрового рейса. В результате явилась возможность установить продолжительность маневровой работы, а следовательно затрату на маневры паровозо-часов и вагоно-часов. Анализ и наблюдения дали возможность определить также продолжительность нахождения вагонов под прочими операциями на распорядительных станциях. Таковыми операциями являлись: прием поезда, накопление состава и обрядности по отправлению.

Сопоставляя затрату паровозо-часов и вагоно-часов при отдельных вариантах переработки грузового потока, можно было подойти к выбору наиболее выгодного из них.

Оценивая эту выгодность с точки зрения расхода паровозо-часов и вагоно-часов, приходилось также соблюдать выполнение двух добавочных условий. Во-первых, распределение маневровой работы между отдельными станциями должно согласовываться с мощностью их оборудований, во-вторых, порядок переработки отдельных грузовых потоков должен обеспечивать соблюдение установленных сроков доставки.

Если раньше взаимные обязательства дорог по формированию маршрутов и выделению отдельных групп в передачах носили до известной степени случайный характер, то сейчас мы имеем возможность разрешить эти вопросы сознательно и научно обоснованно. План маневровой работы по отдельным дорогам и общий план переработки грузовых потоков в масштабе всей сети дорог вырабатывается и постепенно проводится в жизнь.

Таким образом, главными достижениями в деле руководства перевозками являются: точный учет мощности оборудований, наличия перевозочных средств и качества их использования, установление согласованного плана перевозок, общий план переработки грузовых потоков, организация диспетчерского аппарата, руководящего работой линии, сосредоточение общего контроля, руководства и выработки планов работы в центральных органах ведомства.

Попробуем еще проследить, какие начинания уже превратились в действительность и какие нуждаются в проведении.

Начнем с вопросов пропускной способности. Пропускная способность линий и отдельных участков взята дорогами на точный учет. Что касается до пропускной способности отдельных узлов и пунктов крупной погрузки и выгрузки, то можно и до сих пор встретить случаи, когда управление дороги имеет разноречивые данные о пропускной способности станции или данные недостаточно свежие и обоснованные. Желательно, чтобы для всех узловых и распорядительных станций были произведены, применительно к их современному оборудованию, точные подсчеты размера их пропускной способности и чтобы были выработаны особые инструкции о порядке работы этих станций. В отношении пунктов погрузки и выгрузки необходимо, чтобы выгрузная способность была установлена не только для станционных путей общего пользования, но и для ветвей частного пользования. Несогласованность в размере прибытия груженых вагонов, адресованных на отдельные ветви, с выгрузной способностью этих ветвей часто является источником затруднений в работе дорог.

Особого внимания заслуживает также вопрос о влиянии условий безопасности движения на пропускную способность. Дело в том, что за время империалистической и гражданской войны дисциплина железнодорожных агентов и качество их работы значительно понизились. Вследствие этого в отдельных случаях пришлось перейти к более жестким условиям безопасности движения. Сейчас как дисциплина, так и качество работы подошли к довоенным нормам. Между тем управления дорог до сих пор остерегаются применять некоторые методы, которые должны были бы дать благоприятные результаты в области пропускной способности. Как пример, можно указать отправление поездов влед, разрешенное в известных условиях, но почти не применяемое на дорогах. Также получил недостаточное распространение способ отправления поездов по телефону, хотя при перерыве телеграфной связи целесообразнее отправлять поезда по телефонному соглашению, чем по способу преимущественного направления. Недавно нам пришлось обратить внимание, что на одном узломом пункте задерживается открытие уложенных, весьма важных по условиям работы узла, съездов из-за отсутствия контрольных замков и опасения допустить обслуживание этих съездов вручную, хотя бы и под наблюдением старшего стрелочника. Желательно, чтобы все аналогичные вопросы были пересмотрены управлениями и чтобы чрезмерная осторожность, проявляемая по отношению к официально допущенным методам была отброшена.

В отношении провозной способности следует иметь в виду, что анализ и хронометражные наблюдения дали возможность установить нормы времени следования вагонов в поездах и нормы времени затрачиваемого на простой и переработку на депоовских и распорядитель-

ных станциях. Что касается до простоя под начальной и конечной операциями, т. е. под нагрузкой и выгрузкой, а также под обрядностями обмена, то в этом мы найдем широкое поприще деятельности. Анализ использования вагона показывает, что в среднем вагоны находятся в поездном движении 5—6 часов в сутки, а остальное время, т. е. 19—18 часов в сутки проводят в простое на станциях. Естественно, что заботы об улучшении использования вагонов должны быть прежде всего направлены на сокращение простоя под отдельными операциями. Одна из более существенных обрядностей — обмен на пунктах передачи, связана со значительным простоем. Этот простой был подвергнут специальным наблюдениям, были изучены условия технического и коммерческого брака при передаче и в настоящее время комиссариат вводит упрощенные условия обмена, в связи с чем можно рассчитывать и на сокращение простоя.

Простой под нагрузкой и выгрузкой в известных случаях находится в зависимости не только от срока, установленного для выполнения этих работ, но и от продолжительности работы товарного двора за сутки. Путем установления обслуживания погрузочно-выгрузочных работ на несколько смен, можно найти подход к сокращению срока простоя вагонов.

Наконец, на отдельных станциях можно найти простоя вагонов под таможенным осмотром, под досмотром государственной хлебной инспекции, за выполнением переадресовок, в распоряжении городских станций и т. п. Эти простои также ложатся ощутительным бременем на использование вагонов, и всяческие сокращения их настоятельно необходимы.

Вопрос наиболее выгодного использования паровозов представляет до сих пор ряд интересных проблем. Применительно к техническим условиям участков и размерам грузооборота выявляются условия выгодности применения той или другой серии паровоза и выбор состава. Рассматривая движение транзитных потоков по отдельным магистралям, является также интересным проследить влияние переломов составов при переходе с одного участка на другой и результаты, которых можно достичь, сократив число этих переломов при помощи применения на отдельных участках паровозов различных серий. Наконец, целесообразно обследовать по отдельным участкам выгодность применения непарного графика, порядок возвращения лишних паровозов и повышение нормы порожних составов, оценивая достигнутые результаты в отношении пропускной способности, коммерческой скорости и потребности в паровозах на пару поездов.

Значительный интерес представляет также вопрос о проведении в жизнь выработанного плана перевозок.

Дело в том, что при составлении этого плана не всегда возможно учесть размер отдельных эксплуатационных измерителей, как например, дальность рейса груженого вагона и процентное отношение порожнего пробега вагонов к груженому пробегу.

Благодаря вышеуказанному обстоятельству при выполнении перевозок возможны некоторые отклонения от намеченного плана. Естественно возник и был поставлен на очередь вопрос о том, нельзя ли уравновесить эти отклонения путем соответствующих изменений в размере собственной погрузки, т.е. применяя, так называемую, местную регулировку.

Для того, чтобы такая регулировка могла достигнуть цели, необходимо, чтобы размер ожидаемого потока был взят на учет на расстоянии двухсуточного или трехсуточного пробега от ограждаемого участка, т.е., примерно, за 500—1.000 км. Лишь при соблюдении этого условия, действительно можно успеть своевременно нормировать подсылку порожняка и согласовать размер погрузки.

Вносились предложения установить по всем линиям сети нормирование погрузки путем учета диспетчерским аппаратом размера находящихся в пути грузовых потоков.

Не возражая против необходимости учета грузовых потоков, все же едва ли можно признать целесообразным установление, как общего правила, диспетчерского учета всех потоков. Такой порядок прежде всего значительно обременил бы как линии связи, так и самый диспетчерский аппарат. Затем организация учета подхода потока в расстоянии 500—1.000 километров от регулируемого участка часто будет выполняема лишь путем уведомления с соседних дорог, что также усложнит решение вопроса. Наконец, следует заметить, что ограничивать размер погрузки по отдельным дням вообще нежелательно. Общий размер погрузки устанавливается при согласовании плана, но колебание размера заявки за отдельные числа, явление неизбежное, обусловленное массой причин, влияющих на условия работы железнодорожной клиентуры. Создавать лишние ограничения и затруднения в работе этой клиентуры без крайней надобности, конечно, не следует. Поэтому, казалось бы, пользуясь теми запасами на неравномерность движения, которые учитываются при самой выработке плана, можно в обычное время выполнять перевозки, не прибегая к ограничению размера погрузки.

Лишь когда имеются сведения о затрудненности в работе какого-либо участка или станции, есть основание установить диспетчерский учет и нормирование грузовых потоков, как по входным пунктам, так и по погрузке. Для того же, чтобы по возможности предотвратить возникновение всяких замешательств, желательно, чтобы при выработке планов перевозки, для всех более или менее значительных грузовых потоков выяснялись районы или станции их назначения.

Затруднения и задержки в разгрузке вагонов иногда возникают при снабжении заводов и предприятий сырьем и топливом, благодаря несогласованности размера прибытия с оборудованием соответствующих ветвей и выгрузных путей. Так как такие перевозки происхо-

дят в порядке плана, то казалось бы полезным учитывать, при разверстке плана между отдельными клиентами, приемную способность путевых устройств находящихся в их распоряжении.

Вопрос о проведении в жизнь выработанного плана перевозок и о повышении качества работы по использованию подвижного состава, находится в тесной зависимости от того руководства и наблюдения, которое может иметь диспетчерский аппарат. Руководство же это зависит от того, насколько хорошо оборудована связь между линией и конторой отделения. Непосредственная связь между диспетчером и всеми станциями, достигаемая при установке селекторных аппаратов, дает диспетчеру возможность фактически руководить поездным движением. В этих случаях диспетчер ведет подробный график исполненного движения и имеет на любой момент сведения о расположении поездов. В настоящее время лишь немногие из линий нашей сети оборудованы селекторной связью. В большинстве случаев в распоряжении диспетчера имеются лишь обыкновенная телефонная и телеграфная связь, при чем даже не всегда возможны непосредственные переговоры с отдельными станциями. При отсутствии селекторной связи вести подробный график исполненного движения для диспетчера затруднительно и приходится ограничиваться ведением сокращенного графика по депо-ским станциям. Такой график дает материал для диспетчерской отчетности, но не может дать полной картины для контроля поездного движения. Поэтому контроль движения поездов приходится выполнять при обработке ленточного графика, который получается из сведений, представляемых отдельными станциями. Таким образом самый контроль принимает характер последующего анализа.

Для возможности непосредственного и своевременного руководства, установление селекторной связи по всем линиям, имеющим мало-мальски значительный размер движения, является одной из самых существенных задач.

Нельзя также обойти молчанием вопроса о комплектовании штата агентов по эксплуатации. В области теоретической подготовки по эксплуатации за последние годы сделано очень много. Мы имеем эксплуатационные отделения в высших технических учебных заведениях, в техникумах и в профшколах. Благодаря этому дорожная сеть обеспечена притоком подготовленных молодых сил. Возникает вопрос о том, насколько эти силы ценны и насколько они использованы. Несомненно, что всякие знания ценны не сами по себе, а лишь по-скольку они применяются в работе. Для того, чтобы лица, имеющие теоретическую подготовку могли с пользою для дела применить свои знания, они должны практически ознакомиться с работою. Это ознакомление должно идти не путем фиктивного отбытия стажа на бумаге, а путем непосредственной работы по отдельным должностям как технического, так и коммерческого уклона. Таким образом следует признать необходимым отбытие самого серьезного стажа по

эксплуатации всеми поступающими в Отдел Эксплуатации агентами. Также едва ли можно признать справедливым пожелание, чтобы оплата труда такого стажера производилась не по замещаемой им должности, а в порядке какой то другой повышенной расценки. Железная дорога оплачивает каждому служащему его личный труд, и делать разграничения для служащих, руководствуясь не ответственностью и качеством работы, а образовательным цензом служащего, едва ли целесообразно.

Когда лицо, имеющее специальную теоретическую подготовку приобрело надлежащий стаж, научилось применять свои знания и выказало себя ценным работником, то естественно продвигать такое лицо на должности, где его работоспособность и качества могли бы быть использованы в полной мере.

Необходимо, чтобы были усвоены два высказанные выше положения. С одной стороны наличие диплома без практической подготовки и без выявления своей работоспособности не должно служить основанием для каких-либо претензий на ускорение продвижения по службе и увеличенную оплату труда. С другой стороны, лица имеющие как теоретическую подготовку, так и практический стаж и выказавшие свою работоспособность, должны быть использованы.

Для того, чтобы имелось желание использовать эти молодые силы необходимо, чтобы лица, руководящие эксплуатационною отраслью железнодорожного дела, сами обладали надлежащим кругозором и развитием. Параграф 9 Правил Технической Эксплуатации гласит, что Начальник Отдела Эксплуатации, его помощники, Начальники технических частей Управления Отдела, старшие ревизоры и начальники отделений на линии должны быть назначаемы преимущественно из лиц, получивших высшее техническое образование и притом, опытных в деле заведывания и распоряжения движением на железных дорогах.

Весьма важно, чтобы этот параграф в действительности проводился в жизнь. Только обладающие надлежащей квалификацией лица проявят при комплектовании штата интерес к использованию служащих, имеющих техническую подготовку и смогут вполне оценить ту пользу, которая может быть из них извлечена.

Мы считаем, что как проведение в жизнь той системы и тех достижений, которые были указаны, так и дальнейшие улучшения в применяемых методах эксплуатации делают необходимым комплектование активных должностей лицами, обладающими соответственной подготовкой и присоединяем это положение к числу намеченных очередных задач.

*И. Гордеевко.*

8 ноября 1926 года.

Проф. Г. Д. Дубеллер

# ВЫБОР ТИПА ШОССЕЙНЫХ И ГРУНТОВЫХ ДОРОГ

В СООТВЕТСТВИИ С РАЗМЕРОМ

И ХАРАКТЕРОМ ПЕРЕВОЗОВ



# Выбор типа шоссейных и грунтовых дорог в соответствии с размером и характером перевозок.

## 1. Сущность вопроса.

При разработке плана улучшения дорожного хозяйства приходится иметь дело с целой *сетью дорог* в заданном районе, области, губернии, уезде, которую, в течение намеченного срока, требуется привести в состояние, соответствующее потребностям грузовых и пассажирских сообщений.

В состав дорожной сети входят участки с очень разнообразной грузонапряженностью, от нескольких сот до нескольких десятков тысяч тонн в год и с различным составом движения (пассажирское, почтовое, грузовое, гужевое и автомобильное). Практическая задача состоит в таком подборе типов улучшения дороги, при котором на каждом участке было бы достигнуто наибольшее возможное улучшение провозности дорог и, в то же время, затраты на капитальное улучшение всей дорожной сети не выходили бы из определенных рамок, диктуемых общими хозяйственными условиями района.

Общий метод решения такой задачи состоит в установлении:

1) *классификации основных типов* устройства дорог для разной напряженности и состава перевозок;

2) *стандартизации* для каждого типа основных технических условий устройства дороги — ширины проезжей части, наибольших подъемов, расчетных нагрузок на искусственные сооружения и т. д.;

3) *экономических характеристик* каждого типа, т.-е. приблизительных размеров: а) первоначальной стоимости и устройства 1 км дороги, б) ежегодных расходов на содержание, ремонт, погашение и оплату процентов по займу и в) себестоимости перевозки одного тонно-километра. В отличие от технических стандартов, которые могут быть более или менее зафиксированы для каждого типа дороги, экономические характеристики могут быть указаны лишь приблизительно с возможными отступлениями в довольно широких пределах;

4) *критериума*, пользуясь которым, при заданном характере и интенсивности перевозок, можно было бы выбрать наиболее подходящий для каждого участка тип дороги.

Такой ход решения задачи является до некоторой степени аналогичным принятому для железных дорог. В настоящее время НТК НКПС составлена классификация железных дорог с подразделением их на четыре разряда: 1) магистрали усиленного, 2) нормального, 3) облегченного типа и 4) подъездные пути и ветви. Каждый разряд характеризуется, с одной стороны, пределами грузонапряженности, а с другой стороны, некоторыми техническими стандартами, к которым должны стремиться как существующие, так и вновь строящиеся линии, с допущением временных отступлений от этих стандартов по обстоятельствам экономического характера.

## 2. Классификация шоссейных и грунтовых дорог.

В основу классификации могут быть положены: 1) характеристика перевозок, 2) характеристика основных элементов устройства дороги.

Перевозки различаются, как было сказано, интенсивностью и составом. Интенсивность, вообще говоря, в значительной степени зависит от развития хозяйства района и, в частности, от степени его индустриализации.

В Тверской губ., по данным обследования 1911 г., густота движения на большинстве дорог составляла 1.500—3.000 *т* в год. Только немногие участки, расположенные около городов, имели движение до 15.000 *т*. Всего из 7.000 км трактов только 0,2% имело грузооборот более 15.000 *т* (1 млн. пудов) и 6% грузооборот более 8.000 *т*.

В промышленных районах движение имеет большие размеры. Так, например, в Сумском у. Харьковской губ. по данным обследования 1911 г. —

|     |       |       |                    |       |                |   |     |
|-----|-------|-------|--------------------|-------|----------------|---|-----|
| 48% | дорог | имело | грузонапряженность | свыше | 8.000 <i>т</i> | в | год |
| 29% | "     | "     | "                  | от    | 15—30.000      | " | "   |
| 8%  | "     | "     | "                  | более | 30.000         | " | "   |

Такая интенсивность объясняется наличием в Сумском уезде крупной свекло-сахарной и винокурной промышленности, грузы которой (свекла, каргофель, жом, патока) составляли главную массу (75—90%) перевозок.

По обследованию в 1914 г., шоссейные дороги Варшавского округа Путей Сообщения имели на участках со средним движением (120—180 повозок в день) грузонапряженность 20—30.000 *т* в год, на участках с большим движением (1.200—1.800 повозок в день) грузонапряженность 200—300.000 *т* в год.

По новейшим данным обследования германских шоссе (1925 г.)

|     |       |       |                    |       |                  |   |     |
|-----|-------|-------|--------------------|-------|------------------|---|-----|
| 30% | шоссе | имело | грузонапряженность | свыше | 200.000 <i>т</i> | в | год |
| 15% | "     | "     | "                  | "     | 350.000          | " | "   |
| 8%  | "     | "     | "                  | "     | 500.000          | " | "   |

Грузонапряженность этих шоссе имеет, следовательно, размеры, близкие к грузообороту наших магистральных железных дорог облегченного типа ( $500.000 \text{ т} = 30 \text{ милл. пудов в год}$ ).

На американских шоссе, по обследованию в штате Мэн в 1924 г., при среднем движении на наиболее оживленных шоссе (первый разряд) 1.000 автомобилей в день, что эквивалентно грузонапряженности около 150.000 т в год, максимальное суточное движение достигало 10.000 автомобилей.

Из сопоставления этих данных можно прийти к заключению, что деление дорог на разряды по грузонапряженности не может быть абсолютным, а должно быть устанавливаемо для каждой страны на известный период, применительно к уровню хозяйственного и промышленного развития. Подразделение, принятое, например, для германских шоссе, неудобно для наших дорог, имеющих пока во много раз меньшую грузонапряженность; однако, разряды, которые могут быть установлены для настоящего момента, с течением времени придется изменить.

Помимо общей грузонапряженности движения, для характеристики дороги необходимо еще учитывать степень интенсивности автомобильного транспорта и его характер. Воздействие автомобилей на дорогу иное, нежели гужевого транспорта, по величине вертикальных (нагрузка на ось), продольных (силы тяги и торможения) и поперечных (центробежных) усилий. Поэтому наличие, в составе перевозок, автомобильного транспорта существенно отражается на выборе типа одежды, расчетной нагрузке для мостов и радиусах закруглений.

С точки зрения характеристики устройства дороги можно наметить три основных типа: 1) *усиленный тип*, к которому могут быть отнесены гудронированные и обыкновенные шоссе и бетонные дороги, отвечающие потребностям интенсивных автомобильных, пассажирских и грузовых сообщений с большими скоростями или большой нагрузкой на ось, 2) *нормальный тип* мощных тракторов, замощенных сплошь, или на части протяжения, соответствующий средним в наших условиях размерам грузооборота, с преимущественно конной тягой, 3) *облегченный тип* улучшенных грунтовых дорог, соответствующий уездным и волостным дорогам второстепенного значения, а также полевым, лесным и сельским дорогам, имеющим среди других разрядов относительно наибольшее протяжение на территории СССР (около 3 миллионов км).

Сопоставляя изложенные характеристики интенсивности и состава перевозок с основными типами устройства дорог, можно наметить следующую классификацию шоссе и грунтовых дорог. (См. табл. I стр. 7).

Номерация разрядов в этой таблице начата с VI, имея в виду, что разряды I—IV заняты классификацией железных дорог нормальной колеи, а V разряд должен быть оставлен для узкоколейных железных дорог.

### 3. Основные технические стандарты устройства дорог.

Так же как и для железных дорог, технические стандарты определяют те нормы, к которым существующие и вновь строящиеся дороги должны стремиться, будучи отнесены к тому или иному разряду по своему грузообороту настоящему, или расчетному на будущее время.

Нормы для каждой данной дороги определяются, вообще говоря, техническими условиями, утверждаемыми в надлежащем порядке. У нас имеются „Временные технические условия проектирования шоссеиных и мощеных дорог магистрального и местного типа“, утвержденные 10 июня 1917 г., с некоторыми последующими дополнениями. В этих технических условиях в одних главах проведена градация норм в зависимости от размеров движения и значения дороги (ширина одежды, искусственные сооружения), в других этой градации нет (продольные уклоны и радиусы закруглений). Кроме того, эти технические условия относятся, повидимому, лишь к разрядам VIб, VIIа и VIIб; для дорог VIII разряда приходится руководствоваться техническими условиями, устанавливаемыми в каждом отдельном случае. Несомненно, что местные экономические обстоятельства, климатические и топографические условия всегда и впредь должны учитываться в полной мере при составлении проекта дороги. Тем не менее, можно попытаться развить несколько общую часть основных норм, приведенную в упомянутых технических условиях, распределив ее соответственно намеченным классификацией разрядам дорог; опыт такого распределения сделан в следующей таблице II. (См. стр. 9).

Величина руководящего предельного подъема определяется экономическими соображениями—с одной стороны нагрузкой на экипаж и стоимостью перевозки, с другой стороны затратами на сооружение дороги (земляные работы и искусственные сооружения). Возможные пределы колебания руководящего подъема зависят от соотношения цен на перевозки и на строительные работы.

Аналогично с принятым для железных дорог, *рекомендуемым радиусом* называется такой, который должен применяться при средних затруднительных условиях и который не должен без нужды уменьшаться. *Наименьший нормальный* применяется в трудных условиях трассы, а в *исключительных случаях* допускается еще меньший во избежание крупных расходов (снос строений, выемка в скале, изменение проекта моста). Величина радиусов для дорог VI разряда и VIIа определяет допустимую максимальную скорость автомобильного движения по условиям видимости и центробежной силы.

Нормальная ширина проезжей части определяется числом колеи и габаритом повозок. Для автомобильного движения (VI разряд) габарит принят в 3 м., для смешанного 2—2,75 м. Для дорог раз-

Т А Б Л И Ц А I.  
Классификация шоссеиных и грунтовых дорог.

| 1. Наименование разряда.                                             | Дороги усиленного типа                                                                                                              |                                                                                                  | Дороги нормального типа                                                                                                                 |                                                                                                         | Дороги облегченного типа                                              |                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                      | Via                                                                                                                                 | V16                                                                                              | V1a                                                                                                                                     | V15                                                                                                     | V11a                                                                  | V11b                                                                                                          |
| 2. Номер разряда.                                                    |                                                                                                                                     |                                                                                                  |                                                                                                                                         |                                                                                                         |                                                                       |                                                                                                               |
| 3. Приблизительные пределы грузонапряженности (в эквиваленте) в год. | Свыше 100,000 т-км/км.                                                                                                              | Свыше 30,000 т-км/км.                                                                            | От 10,000 до 30,000 т-км/км.                                                                                                            | От 3,000 до 10,000 т-км/км.                                                                             | От 500 до 3,000 т-км/км.                                              | Менее 500 т-км/км.                                                                                            |
| 4. Состав движения.                                                  | Очень интенсивное автомобильное движение с большими скоростями (свыше 50 км в час) или большой нагрузкой на ось.                    | Значительное автомобильное движение.                                                             | Значительное количество тяжелых повозок. Немалое автомобильное движение.                                                                | Преимущественно крестьянские повозки, частью тягловые подводы. Пассажирское и почтовое сообщение.       | Преимущество крестьянские повозки. Почтовое сообщение.                | Легкие повозки, или сообщение верхом и выюком.                                                                |
| 5. Значение дороги.                                                  | Приторговые участки шоссе около больших городов и промышленных центров.                                                             | Шоссе государственного значения, стратегическое, дороги.                                         | Важнейшие польсовые пути к городам, станциям и пристаням в промышленных районах.                                                        | Пользованные пути к станциям, тракты местного значения в с.-х. районах с мало развитой промышленностью. | Дороги местного значения, узловые дороги выданы от станций и городов. | Полевые, лесные и сельские дороги. Промышленные дороги в малонаселенных местностях.<br>Горные и лесные тропы. |
| 6. Тип дороги.                                                       | Усиленные гудронированные шоссе на прочном основании. Бетонные, каменные, брусчат. или мостовая. Мосты каменные или железобетонные. | Шоссе нормального типа. Искусственн. сооружения капитального типа (каменные или железобетонные). | Сплошная булыжная мостовая или шоссе; искусственн. сооружения капитального типа (преимущественно на камени. опорах или железобетонные). | Булыжная мостовая на отдельных участках; мосты преимущественно деревянные.                              | Улучшенная грунтовая дорога; деревянные мосты облегченного типа.      | Грунтовая дорога или тропы; легкие мосты или паромы, только на более значительных водотоках.                  |

1 т.-с. учитываем автомобильное легковое движение, как эквивалент грузового.

рядов VIII и VIII проезжая часть предполагается грунтовой; ширина ее считается без обочин, т.-е. при американском профиле только в насыпи, без треугольных кюветов. Ширина земляного полотна (для обыкновенного профиля) считается в насыпи между бровками откосов, а в выемке между внутренними бровками кюветов, т.-е. не считая их собственной ширины. Ширина мостов между перилами принята для VI разряда трехколейной, для VII и VIIa двухколейной с учетом различных габаритов и для VIIIб одноколейной. Нормы временной нагрузки для расчета мостов приняты согласно приказа по НКПС за № 3925 от 8 ноября 1922 г., при чем для VI (и отчасти VIIa) разряда принята тяжелая нагрузка, для VII средняя и для VIIa—легкая. Для дорог типа VIIIб принята особо облегченная нагрузка, что вместе с уменьшением ширины до 3 м., дает возможность значительно удешевить стоимость мостов больших отверстий (мосты малых отверстий на таких дорогах могут и не делаться).

На выше приведенные численные значения для технических стандартов следует смотреть только как на первую попытку нормировать основные характеристики для различных разрядов дорог. Окончательное установление норм требует всестороннего обсуждения и затем утверждения в надлежащем порядке.

#### 4. Экономические характеристики дорог различных разрядов.

Как было выше указано, в состав экономических характеристик входят приблизительные величины: а) первоначальной стоимости устройства 1 км дороги, б) ежегодных расходов на содержание, ремонт и погашение и в) себестоимости перевозки 1 т-км.

*Первоначальная стоимость* каждой дороги устанавливается сметой на ее сооружение и, вообще, колеблется в значительных пределах, в зависимости от местных топографических условий (земляные работы, мосты) и цен на материалы (главным образом, камень) и рабочие руки. Однако, для предварительного выбора типа, можно исходить из некоторых ориентировочных средних цифр. Для того чтобы учесть, насколько это возможно в предварительном подсчете, влияние местных условий, покилометровая стоимость может быть разделена на несколько слагаемых, каждое из которых может быть взято больше или меньше, в зависимости от того, например, много ли имеется на дороге мостов и труб, земляных работ, сколько стоит 1 куб. м камня и т. д. Такие приблизительные данные приведены в таблице III (см. стр. 11).

Эти характеристики стоимости составляют непосредственное дополнение к классификации таблицы I и стандартам таблицы II. Дороги разряда VI выделяются особенно дорогим устройством проезжей части. Разряд VII характеризуется значительно более дешевой проезжей частью (особенно VIIIб—мостовая участками), но имеет все же

Т А Б Л И Ц А II

Основные технические стандарты устройства шоссеых и грунтовых дорог.

| 1. Наименование разряда                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Дороги усиленного типа               |                                      | Дороги нормального типа                                   |                                     | Дороги облегченного типа             |                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | VIIa                                 | VIIб                                 | VIIa                                                      | VIIб                                | VIIIa                                | VIIIб                                |
| 2. № разряда                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                      |                                      |                                                           |                                     |                                      |                                      |
| 3. Руководящий подъем:<br>в местности { равнинной и слабо холмистой . . .<br>{ сильнохолмистой и гористой . . .                                                                                                                                                                                                                    | 3%<br>4—5%                           | 4—5%<br>5—6%                         | 5—6%<br>6—7%                                              | 6—7%<br>7—8%                        | 7—8%<br>8—10%                        | 8—10%<br>10—12%                      |
| 4. Радиусы закруглений:<br>а) основной рекомандуемый—метр. . . . .<br>б) наименьший нормальный—метр. . . . .<br>в) допустимый в исключительных случаях—метр                                                                                                                                                                        | 200<br>100<br>50                     | 100<br>50<br>30                      | 100<br>50<br>30                                           | 50<br>30<br>20                      | 50<br>30<br>10                       | 30<br>10<br>5                        |
| 5. Ширина проезжей части:<br>а) шоссеванной или мошовой—метр. . . . .<br>б) грунтовой (считая для американск. профили<br>ширину в насыпи) метр. . . . .                                                                                                                                                                            | 6—9<br>—                             | 5,5—6<br>—                           | 4,5—5,5<br>—                                              | 4—4,5<br>6—7,5                      | 3,5—4<br>4,5—6                       | —<br>3—4,5                           |
| 6. Ширина земляного полотна между бровками (для<br>обыкновенного профиля) метр. . . . .                                                                                                                                                                                                                                            | 10—12                                | 9,5                                  | 8,5                                                       | 7,5—8,5                             | 6,5—7,5                              | 5—6,5                                |
| 7. Ширина мостов между перилами—метр. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Не менее 10                          | 7,5—10                               | 6,5—7,5                                                   | 5,5                                 | 5,5                                  | 3,0                                  |
| 8. Временная нагрузка для расчета искусств. соору-<br>жений:<br>а) Грузовики—общий вес, тонн. . . . .<br>нагрузка на ось, тонн . . . . .<br>б) каток общий—вес, тонн . . . . .<br>нагрузка на ось, тонн . . . . .<br>в) конная фура—общий вес, тонн . . . . .<br>нагрузка на ось, тонн . . . . .<br>г) толпа людей кг/м² . . . . . | 10<br>7<br>15<br>10<br>—<br>—<br>400 | 10<br>7<br>15<br>10<br>—<br>—<br>400 | 10 или 7<br>7 " 4,5<br>15 " 9<br>10 " 6<br>—<br>—<br>4,30 | 7<br>4,5<br>9<br>6<br>—<br>—<br>400 | 4<br>2,75<br>5<br>3<br>—<br>—<br>400 | —<br>—<br>—<br>—<br>1<br>0,65<br>400 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                      |                                      |                                                           |                                     | На корот-<br>ких мо-<br>стах } 3,0   |                                      |

капитальные сооружения. Разряд VIII представляет тип экономического дорожного строительства с грунтовым полотном и сооружениями временного типа.

Если сопоставить начальную характеристику грузонапряженности (3 строка) из таблицы I и характеристику общей покิโลметровой стоимости (9 строка) из таблицы III, то получим следующие цифры:

| Разряд дороги                                                       | VIa                 | VIб                 | VIIa                | VIIб               | VIIIa            | VIIIб            |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Пределы грузонапряженности тоннокилометр. на км . . . . .           | Свыше 100.000       | Свыше 30.000        | От 10.000 до 30.000 | От 3.000 до 10.000 | От 500 до 3.000  | Менше 500        |
| Приблизительн. стоимость 1 км . . . . .                             | от 25.000 до 50.000 | от 15.000 до 25.000 | от 8.000 до 15.000  | от 2.500 до 8.000  | от 650 до 2.500  | менше 650        |
| Стоимость постройки, по расчету на 1 т-км перевозок в год . . . . . | 25—50 к.            | не более 50—80 к.   | 50—80 к.            | 80 к.              | 80 к.—1 р. 25 к. | более 1 р. 25 к. |

Эта таблица показывает, что для дорог со средним движением (VIб, VIIa, VIIб) строительные затраты составляют примерно 50—80 к. на каждый тонно-километр перевозки в год (1 коп. на пудоверсту), а для дорог со слабым движением (VIIIa и отчасти VIIIб) 1 р.—1 р. 25 к. на тонно-километр (2 коп. на пудо-версту). Эти цифры могут быть полезны для приблизительной ориентировки в стоимости улучшения целой сети дорог, для которой имеются данные по обследованию грузооборота.

*Ежегодные затраты* на дорожную сеть складываются из расходов на содержание и ремонт и расходов на погашение строительной стоимости сооружений. В тех случаях, когда средства на постройку дорог реализуются путем займа, к указанным годичным расходам следует прибавить еще оплату процентов по займу. (См. табл. IV).

Содержание и ремонт дорог обходятся ежегодно от 4 до 10% их первоначальной стоимости. При этом более капитальные типы (VI) требуют относительно меньших расходов (4—5%), а более дешевые (VII и VIII), вследствие относительной недолговечности сооружений и грунтового полотна, требуют больших расходов (до 10%). Погашение может быть оценено в пределах от 3,5% (20-летний заем при росте 3,5%) до 1% (40-летний заем). Проценты на занятый капитал можно оценить от 5 до 6% в зависимости от условий займа.

Если обратиться теперь к третьей из намеченных выше экономических характеристик—к *себестоимости перевозок* на дорогах раз-

Г А Б Л И Ц А Ш.

Примерная стоимость (в довоенных рублях) постройки 1 километра дорог разных типов.

| 1. Наименование разряда                                                                              | Дороги усиленного типа |               | Дороги нормального типа |             | Дороги облегченного типа |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-----------------|
|                                                                                                      | V Ia                   | V Ib          | V Ia                    | V Ib        | V Ia                     | V Ib            |
| 2. № разряда                                                                                         |                        |               |                         |             |                          |                 |
| Статьи расхода.                                                                                      |                        |               |                         |             |                          |                 |
| 3. Занятие земли, рубка просеки, корчевка . . .                                                      | 0—1.000                | 0—1.000       | 0—500                   | 0—300       | 0—100                    | 0—30            |
| 4. Земляное полотно } Равнинная местность, легкие грунты.<br>Пересеченная местность, тяжелые грунты. | 2.000—6.000            | 1.000—3.000   | 800—2.000               | 300—800     | 150—300                  | 0—100           |
| 5. Мосты и трубы } Протяжение от малое верстей на км } большое                                       | 3.000—5.000            | 2.000—3.000   | 1.500—2.000             | 900—1.500   | 300—900                  | 100—300         |
| 6. Дорожная одежда } Местный, дешевый камень.<br>Дорогой привозн. камень                             | 13.500—25.000          | 7.500—11.000  | 4.500—7.500             | 1.000—4.500 | 150—1.000                | 0—150           |
| 7. Гражданские сооружения . . . . .                                                                  | 1.500                  | 1.200         | —                       | —           | —                        | 50<br>(зимовье) |
| 8. Разные расходы (10—20%) . . . . .                                                                 | 5.000—10.000           | 3.300—5.000   | 1.200—3.000             | 200—1.000   | 50—200                   | 20              |
| 9. Всего на километр . . . . .                                                                       | 25.000—50.000          | 15.000—25.000 | 8.000—15.000            | 2.500—8.000 | 650—2.500                | 150—650         |

ТАБЛИЦА IV.

Ежегодные расходы на один километр дорог разных типов.

| 1. Наименование разряда                                 | Дороги усиленного типа |                    | Дороги нормального типа |                | Дороги облегченного типа |                |
|---------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|----------------|--------------------------|----------------|
|                                                         | VIa                    | VIб                | VIIa                    | VIIб           | VIIIa                    | VIIIб          |
| 2. № разряда                                            |                        |                    |                         |                |                          |                |
| 3. Первоначальная стоимость (см. табл. III) . . . .     | 25—50.000              | 15—25.000          | 8 000—15.000            | 2.500—8.000    | 650—2.500                | 150—650        |
| 4. Расходы на содержание и ремонт, процентов рублей . . | 5—4<br>1.250—2.000     | 6—5<br>900—1.250   | 7—6<br>550—900          | 8—7<br>200—550 | 8<br>50—200              | 20—10<br>30—65 |
| 5. Погашение и процент на капитал . . . . .             | 7—6<br>1.750—3.000     | 8—7<br>1.200—1.750 | 9—8<br>700—1.200        | 10<br>250—800  | 10<br>50—250             | 10<br>10—65    |
| 6. Полные ежегодные расходы на 1 км . . . . .           | 3.000—5.000            | 2.000—3.000        | 1.250—2.100             | 450—1.350      | 100—450                  | 35—130         |

личного типа <sup>1</sup>, то следует прежде всего отметить, что эта характеристика является наименее устойчивой. Себестоимость перевозки по одной и той же дороге сильно изменяется от таких факторов, как стоимость экипажа в день (в свою очередь, зависящая от цен на фураж, бензин, шины и пр.), от рода груза (сезонность и дальность перевозки—число концов в день) и т. д. Поэтому нельзя установить *действительную* себестоимость перевозки, можно вычислить только некоторую условную, получаемую исходя из предположений, принимаемых *условно* различным разрядам дорог. Такое вычисление представлено в следующей таблице V (см. стр. 13).

Цифры полезной нагрузки  $G$  приняты соответственно величинам сопротивления движению и руководящих подъемов: в общем, эти нагрузки близки к наблюдаемым в действительности. Полезный пробег  $L$  принят равным половине суточного (напр., при 30 км суточного прохода лошади полезный пробег  $L=15$  км, обратно порожнем). При переходе к разрядам VIIб, VIIIa и VIIIб принято последовательное уменьшение величины пробега, так как можно предполагать на дорогах облегченного типа (воловых, полевых) уменьшение *расстояния перевозки* и, вместе с ним, суточного числа оборотов. Суточная стоим-

<sup>1</sup> Вопрос о себестоимости перевозок по различным типам дорог освещен также в недавно вышедшей работе проф. В. Н. Образцова „Экономика местного транспорта и пионерного строительства“. См. выпуск I трудов М. И. И. Га за 1926 г.

# Т А Б Л И Ц А V.

**Условная себестоимость перевозки за 1 тонно-километр на шоссейных и грунтовых дорогах разного типа.**  
(Не считая расходов на путь).

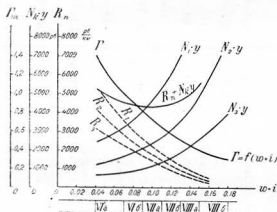
| 1. Наименование разряда                                                                                                                        | Дороги усиленного типа |                | Дороги нормального типа |                                                  | Дороги облегченного типа |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|------------------|
|                                                                                                                                                | VIa                    | VIб            | VIIa                    | VIIб                                             | VIIIa                    | VIIIб            |
| 2. № разряда                                                                                                                                   |                        |                |                         |                                                  |                          |                  |
| 3. Коэффициент сопротивления движению $\omega$ . . . . .                                                                                       | 0,02                   | 0,03—0,04      | 0,04—0,05               | 0,06<br>(средн. между мощен. 0,05 и грунт. 0,07) | 0,06—0,07                | 0,07—0,08        |
| 4. Руководящий подъем в равнинной местности $i$ . . . . .                                                                                      | 0,02—0,03              | 0,04—0,05      | 0,05—0,06               | 0,05—0,07                                        | 0,07—0,08                | 0,08—0,10        |
| 5. Сумма $\omega + i$ . . . . .                                                                                                                | 0,04—0,05              | 0,07—0,09      | 0,09—0,11               | 0,11—0,13                                        | 0,13—0,15                | 0,15—0,18        |
| 6. Расчетная полезная нагрузка на одну лошадь<br>$\Gamma = \left\{ \begin{array}{l} \text{пудов} \\ \text{тонн} \end{array} \right.$ . . . . . | 85—70<br>1,4—1,2       | 60—50<br>1—0,8 | 50—35<br>0,8—0,6        | 35—30<br>0,6—0,5                                 | 30—25<br>0,5—0,4         | 25—20<br>0,4—0,3 |
| 7. Показный суточный пробег $L$ км . . . . .                                                                                                   | 15                     | 15             | 15                      | 15—12                                            | 12—10                    | 10—8             |
| 8. Нормальная суточная производительность $\Gamma L$<br>т-км . . . . .                                                                         | 20—18                  | 15—12          | 12—9                    | 9—6                                              | 6—4                      | 4—2,5            |
| 9. Условная стоимость $D$ однокопной подводы<br>в день . . . . .                                                                               | 2 р. 50 к.             | 2 р. 50 к.     | 2 р. 50 к.              | 2 р. 50 к.—2 р.                                  | 2 р.                     | 2 р.             |
| 10. Условная приближенная стоимость перевозки<br>1 т-км . . . . .                                                                              | 12—14 к.               | 16—20 к.       | 20—27 к.                | 27—35 к.                                         | 35—50 к.                 | 50—80 к.         |

$$y = \frac{D}{\Gamma L}$$

мость подводы для дорог VIa, VIIa условно принята, по довоенным нормам, в 2 р. 50 к., а для разряда VIIб и VIII понижена до 2 р.—1 р. 80 к. (на 20—30%), имея в виду, что крестьянские лошади используются и в значительной части содержатся и погашаются за счет работы в сельском хозяйстве. Фактически в каждом конкретном случае средние величины полезной нагрузки, суточного полезного пробега, суточной стоимости и, в результате, средней себестоимости перевозки 1 тонно-километра должны устанавливаться обследованием на месте. Приведенные в таблице V цифры, так же как и предыдущие экономические характеристики, могут служить только как ориентировочные.

## 5. Критериумы для выбора типа дороги.

В таблице I указаны основные типы дорог для разных грузов, а в таблице II технические стандарты для этих типов. Таким образом, если известна грузонапряженность, то, пользуясь таблицей I и II, можно подобрать тип дороги. Такое решение задачи, конечно, носит только условный характер, как вытекающее из некоторых сделанных допущений. Экономические выгоды от улучшения дорог зависят от разiera затрат на сооружение и от уменьшения себестоимости пере-



Фиг. 1.

возок. Хотя такие данные и приведены в таблицах III, IV и V, но выше было указано, что эти экономические характеристики фактически могут колебаться в больших пределах, в зависимости от местных условий—цен на строительные работы, перевозочные средства и т. д. Поэтому таблица I предназначена только для предварительной ориентировки, а в каждом отдельном случае выбор типа следует проверить фактических данных.

Если по оси абсцисс отложить коэффициент  $w+i$  (сумму величин сопротивления движению и наибольшего подъема), то все типы VI—VIII получат, согласно таблице V, определенное положение на этой оси (фиг. 1). По оси ординат можно отложить для каждого типа соответствующие характеристики, напр., нормальную нагрузку в тоннах на подводу  $G$ ; соединяя точки, соответствующие отдельным типам, получим кривую  $G=f_1(w+i)$ . Расходы на перевозку на протяжении 1 км при разной грузонапряженности можно представить на той же эюре

в виде пучка кривых  $N_k y = f_2(w+i)$ , где  $N_1, N_2 \dots$  величины грузо-напряженности,<sup>1</sup> а  $y$  себестоимость 1 т-км. На той же эюре мы могли бы построить кривую  $R = f_3(w+i)$  ежегодных расходов на содержание, ремонт, погашение и проценты 1 км разных типов дорог — кривая эта будет убывать (как можно видеть из таблиц IV и V) по мере увеличения  $w+i$ . Если учесть изменения первоначальной стоимости, в зависимости от местных условий (рельеф, земляные работы, мосты, стоимость камня), то и для этой зависимости  $R_n = f_3(w+i)$  получится пучок кривых. Выбирая соответствующие кривые  $R_n = f_3(w+i)$  по местным условиям и  $N_k y = f_2(w+i)$  по грузонапряженности, можно построить суммарную кривую  $R_n + N_k y = f_4(w+i)$  полных расходов на транспорт, т.-е. на дороги и на перевозки. Минимум этой кривой определит наиболее выгодный тип дороги. Этот минимум не всегда будет соответствовать точке пересечения кривых  $R_n$  и  $N_k y$ , но, вообще говоря, будет изменяться, в зависимости от положения этих двух кривых.

Описанный метод является известным приемом отыскания минимума расходов на сооружение и эксплуатацию. В практике он, однако, не всегда применим, так как построить надежно эти кривые или определить соответствующие численные зависимости в особенности  $N_k y = f_2(w+i)$  не всегда удается, вследствие трудности определенно установить себестоимость перевозок и *ту долю грузооборота*, на которой отражается улучшение дороги. Кроме того, в этом расчете не учтено значение улучшения пассажирских перевозок. Поэтому, обыкновенно, приходится пользоваться более упрощенными критериями.

Таких можно указать два:

- а) ежегодные расходы на улучшение дорог не должны превышать 25—30% стоимости перевозок;
- б) те же расходы, включая и платежи по займу, не должны превышать фактических платежных ресурсов местного населения и государства, которые могут быть отпущены на данную дорожную сеть.

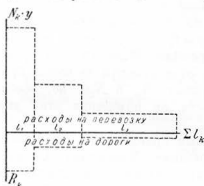
Оба эти критерия очевидны. Редко можно рассчитывать, в результате улучшения дорог, повысить нагрузку на подводу, а тем самым и удешевить перевозки больше, чем на 20—30%. Конечно, остается сверх этого улучшение пассажирских сообщений и общий подъем хозяйства. Но, так как указанное повышение нагрузки на 20—30% достигается в первые годы очень редко и не распространяется на весь объем перевозок, то, без особой погрешности, такую величину затрат на улучшение дорог можно считать *предельной* и этим грубо наметить возможные типы дорог.

Еще реальнее предел, указанный в пункте б); в каждом частном случае он в действительности является решающим. Наше население

<sup>1</sup> Учитывая только такие перевозки (преимущественно полногрузные и летние), на стоимости которых отражается улучшение состояния дорог.

тратило до войны на дороги 20—50 коп. на жителя, в Англии 3—4 рубля; в Соединенных Штатах около 20 рублей. В ближайшем будущем едва ли можно рассчитывать на резкий скачек платежной способности населения. Имея такой предел возможных ежегодных затрат на дорожное дело, остается распределить эту сумму между отдельными участками.

На фиг. 2 по оси абсцисс отложены суммарные протяжения  $l_k$  отдельных участков сети в порядке убывающей грузонапряженности.



Фиг. 2.

По оси ординат вверх отложены произведение  $N_k y$  стоимости перевозок на 1 км. Площадь верхней эпюры представляет сумму  $\Sigma N_k l_k y$  расходов на перевозки. Если от оси абсцисс вниз откладывать величины ежегодных расходов  $R_n$  на 1 км дороги избранных типов, то площадь нижней эпюры  $\Sigma R_n l_k$  изобразит сумму расходов на дорожное дело.

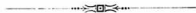
Согласно предыдущего  $\Sigma R_n l_k \leq (0,25 \text{ до } 0,30) \Sigma N_k l_k y$  и, с другой стороны,  $\Sigma R_n l_k \leq A_{\max}$  где  $A_{\max}$  — предел платежной способности. Очевидно, что очертание площади нижней эпюры должно быть в соответствии с верхней, т.-е. участки с большим грузооборотом должны строиться соответственно повышенных типов. Задавшись предельной величиной общей площади нижней эпюры, легко подобрать ординаты для отдельных столбцов и наметить, применительно к местным реальным условиям, типы.

Из приведенных в начале этой статьи цифровых данных о действительном распределении грузооборота легко убедиться, что 10—30% дорожной сети обыкновенно выполняют 50—60% всей работы перевозок. Соответственно, на эти 10—30% протяжения и должна отпущаться большая часть имеющихся в распоряжении средств, для возможно скорого доведения их до повышенных стандартов. Что касается остальной части сети (70—90% протяжения), то на нее должны расходоваться минимальные средства, которые обеспечивают безопасность и непрерывность сообщения—практически средства на устройство мостов и переправ облегченного типа.

Г. Д. Дубелир.

Инж. Д. В. Ангельский

К РАСЧЕТУ  
МНОГОПРОЛЕТНЫХ  
НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК



## К расчету многопролетных неразрезных балок.

Для расчета неразрезных балок чаще всего пользуются теоремой Clapeyron'a и Bertot о трех моментах.

Применение этой теоремы к балке с небольшим числом пролетов не влечет никаких затруднений. Но если расчету подлежит балка многопролетная, то трудность расчета значительно возрастает, так как приходится решать систему большого числа уравнений. В этом случае либо прибегают к специальным математическим приемам для решения системы, либо пользуются другими способами расчета.

В настоящей статье мы укажем прием, позволяющий распространить применимость ур-ня Bertot на многопролетные балки без обычных усложнений—наметим такой путь расчета, в котором решение системы заменено решением ряда уравнений с одним неизвестным. Такая замена, конечно, представляет значительное упрощение.

Идея предлагаемого приема, в общих чертах, заключается в следующем.

Теорему Bertot нужно применить к многопролетной балке два раза—каждый раз к балке с фиктивным нагружением. Эти фиктивные нагружения выбираются так, чтобы, с одной стороны, получились упрощения в уравнениях трех моментов, а с другой,—чтобы, при одновременном действии на балку обеих фиктивных нагрузок, при их сложении, получилась бы схема заданной нагрузки.

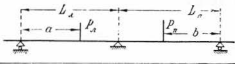
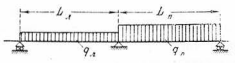
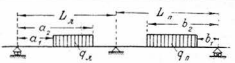
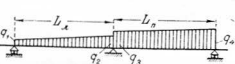
Для получения искоемых значений моментов на опорах, нужно, согласно принципу сложения действия сил, суммировать значения опорных моментов от обеих фиктивных нагрузок, найденные из составленных уравнений.

Рассмотрим детально процесс решения задачи. Пусть требуется рассчитать бесконсольную балку со свободными концами, лежащую на неупругих опорах  $A, B, \dots, Z$ , расположенных на одном уровне, имеющую жесткость  $EI$ , постоянную для каждого пролета и нагруженную заданной системой сил.

Ур-не трех моментов, составляемое для каждой пары смежных пролетов, левого и правого, может быть написано в такой форме:

$$M_A \frac{L_A}{I_A} + 2 M_C \left( \frac{L_A}{I_A} + \frac{L_n}{I_n} \right) + M_n \frac{L_n}{I_n} + \frac{N_A}{I_A} + \frac{N_n}{I_n} = 0.$$

Здесь  $L$ —длина пролета,  $I$ —момент инерции,  $E$ —модуль упругости,  $M$ —момент на опоре,  $N$ —член, зависящий от нагрузки. Индексы  $l$ ,  $s$  и  $n$  показывают отношение соответственной буквы к левой, средней и правой опоре или пролету. Значения грузовых членов  $N$  берутся из следующей таблички:

| РОД НАГРУЗКИ                                                                      | $N_s$                                                         | $N_n$                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|  | $P_l a \left( L_l - \frac{a^2}{L_l} \right)$                  | $P_n b \left( L_n - \frac{b^2}{L_n} \right)$                  |
|  | $\frac{q_l L_l^3}{4}$                                         | $\frac{q_n L_n^3}{4}$                                         |
|  | $\frac{q_l}{4L_l} (a_2^3 - a_1^3) (2L_l^2 - a_1^2 - a_2^2)$   | $\frac{q_n}{4L_n} (b_2^3 - b_1^3) (2L_n^2 - b_1^2 - b_2^2)$   |
|  | $I_s \left[ \frac{q_1}{4} + \frac{2}{15} (q_2 - q_1) \right]$ | $I_n \left[ \frac{q_1}{4} + \frac{2}{15} (q_3 - q_4) \right]$ |

Если на пролете находятся нагрузки разного рода, то грузовой член является суммой слагаемых, соответствующих каждой отдельной нагрузке.

Допустим, что на балку, кроме заданных сил, действует еще пара сил, приложенная к правому концу балки; величина этой пары подобрана так, что момент на второй опоре  $M_B^0$  обращается в нуль. (Моменты на опорах при этой нагрузке обозначим буквами  $M_A^0, \dots, M_Z^0$ ). В ур-ии трех моментов, применяемом к первой паре пролетов, отпадает не только первый член, равный нулю, так как  $M_A^0 = 0$  (для свободного конца балки), но и второй член, содержащий множителем  $M_B^0$  (тоже обращенный в нуль).

Получается ур-ие вида

$$M_C^0 \frac{L_{AB}}{I_{AB}} + \frac{N_{AR}}{I_{AB}} + \frac{N_{BC}}{I_{BC}} = 0,$$

содержащее одно лишь неизвестное  $M_C^0$ , которое может быть определено незамедлительно. Вычислив  $M_C^0$ , составим ур-не трех моментов для следующей пары пролетов —  $BC$  и  $CD$  — второго и третьего.

Это уравнение будет содержать тоже одно лишь неизвестное —  $M_D^0$ , которое и должно быть тотчас определено.

Переходя от одной пары пролетов к другой, мы пройдем таким образом всю балку, определив из последнего ур-ния момент  $M_Z^0$  на крайней правой опоре  $Z$ .

Если бы мы не приложили к правому концу балки пары сил, то  $M_Z^0$  равнялось бы нулю, так как конец балки свободен. Вследствие же сделанного предположения,  $M_Z^0$  теперь отличен от нуля, равен и противоположен по знаку моменту приложенной пары.

Итак, мы получили ряд численных значений  $M_C^0, M_D^0 \dots M_Z^0$  для моментов на всех опорах балки.

Теперь будем вторично рассматривать ту же балку, но без заданной нагрузки, а изгибаемую одной лишь парой, приложенной у правого конца.

Применяя вновь теорему о трех моментах, мы получим новую цепь уравнений, из которых найдем новые значения моментов на опорах. Эти моменты обозначим буквами  $M_A^1, M_B^1, \dots M_Z^1$ .

Уравнения уже будут значительно проще, так как будут совершенно отсутствовать грузовые члены  $N$ , наиболее тяжеловесные в вычислительном отношении.

Первое уравнение попрежнему не будет содержать первого члена, но момент на второй опоре уже не будем считать равным нулю (что невозможно).

Получим такое уравнение:

$$2M_B^1 \left( \frac{L_{AB}}{I_{AB}} + \frac{L_{BC}}{I_{BC}} \right) + M_C^1 \frac{L_{BC}}{I_{BC}} = 0.$$

Здесь два неизвестных —  $M_B^1$  и  $M_C^1$ . Выражая  $M_C^1$  через  $M_B^1$ , получим:  $M_C^1 = k_C \cdot M_B^1$ .

Переходя ко второй паре пролетов, напомним в ур-ни взамен  $M_C^1$  его выражение через  $M_B^1$ . Именно:

$$M_B^1 \frac{L_{BC}}{I_{BC}} + 2k_C M_B^1 \cdot \left( \frac{L_{BC}}{I_{BC}} + \frac{L_{CD}}{I_{CD}} \right) + M_D^1 \frac{L_{CD}}{I_{CD}} = 0.$$

Отсюда найдем:  $M_D^1 = k_D \cdot M_B^1$ .

Продолжая поступать подобным же образом и дальше, выразим все опорные моменты через момент на второй опоре  $M_B^1$ . Для крайней правой опоры получим тоже  $M_Z^1 = k_Z M_B^1$ .

Итак, мы получили две группы значений моментов на опорах. Одна группа соответствует первой из рассмотренных форм загрузки и представляет ряд чисел, другая же группа включает ряд функций от  $M_B^1$ .

Представим себе, что обе схемы нагрузки действуют одновременно. Тогда момент на любой опоре  $K$  может быть представлен как сумма одноименных значений из обеих групп, т.-е. выразится так:

$$M_K = M_K^0 + M_K^1 = M_K^0 + k_i M_B^1 \dots \dots \dots (A)$$

В частности, момент на крайней правой опоре равен:

$$M_Z = M_Z^0 + k_Z M_B^1.$$

Но в действительности, для заданной нагрузки, момент на крайней опоре равен нулю, так как конец балки не заделан. Если мы величину  $M_B^1$  подберем так, чтобы момент на крайней опоре обратился в нуль, то суммарная нагрузка ничем не будет отличаться от заданной.

В самом деле, первая схема нагрузки включает в себе все заданные грузы и, кроме того, пару сил на правом торце. Приравняв суммарный момент на последней правой опоре нулю, мы этим выражаем то, что обе пары друг друга уничтожают и, следовательно, суммарная схема тождественна с заданной.

Условие—

$$M_Z^0 + k_Z M_B^1 = 0 \dots \dots \dots (B)$$

дает возможность определить численно  $M_B = M_B^1$  \*), потом и все прочие искомые моменты  $M_c \dots M_y$  на опорах. Для этого придется подставлять полученное значение  $M_B^1$  в формулу (A) при разных значениях индекса.

В конце статьи помещен численный пример расчета.

Рассмотрим теперь некоторые особые случаи.

#### Балка с консолями.

Если на консолях нагрузки нет, то балка рассчитывается обычным путем, так как незагруженные консоли не учитываются вовсе.

Если же консоли загружены, то при первой схеме нагружения момент на первой опоре уже будет равен не нулю, а сумме моментов грузов, стоящих на консоли, относительно первой опоры. Первый член первого ур-ния поэтому не отпадет, а представится в числовом виде.

\*) Значение  $M_B$  отвечающее заданной нагрузке, находится по общей формуле (A). Именно:  $M_B = M_B^0 + M_B^1$ . Но  $M_B = 0$ . Поэтому  $M_B = M_B^1$ .

Суммарный момент на крайней правой опоре по ур-ию (В) придется приравнять не нулю, а моменту сил, расположенных на правой консоли относительно правой опоры.

В остальном ход расчета не изменится.

### Балка с заделанными концами.

Заменяем левую плоскость заделки опорой обычного типа и добавим еще один пролет слева, положив жесткость балки на этом пролете равной бесконечности. Такая замена, очевидно, не повлияет на распределение напряжений в балке, так как благодаря неизмеримо большой жесткости, добавленная часть балки неупруга, и потому элемент оси балки в том месте, где полагается быть заделке, отвечает условию заделки, т. е. горизонтален. Добавленную опору пометим буквой 0. Составим уравнение моментов для первой пары пролетов, именно:

$$2 M_A^0 \left( \frac{L_{OA}}{I_{OA}} + \frac{L_{AB}}{I_{AB}} \right) + M_B^0 \frac{L_{AB}}{I_{AB}} + \frac{N_{AB}}{I_{AB}} = 0.$$

Положив  $I_{OA} = \infty$  и допустив, что вследствие дополнительной пары справа  $M_A^0 = 0$ , найдем численное значение  $M_B^0$ . Затем составим следующее ур-е, найдем  $M_C^0$ , а потом и прочие опорные моменты. Если правый конец свободен, то, получив значение момента на крайней опоре, переходим ко вторичному исследованию балки, загруженной лишь одной парой. В первом уравнении опять отпадет первый член и первое слагаемое в скобках второго члена. Выразим  $M_B^1$  через  $M_A^1$ ... Дальнейший ход—обычный.

Если же заделан и правый конец балки, то можно поступить так. Заменяем заделку опорой с шарниром и найдем момент на ней. Затем пройдем балку вторично, предполагая, что действует только пара на правом конце. Составим, далее, выражения для моментов на двух крайних правых опорах  $Y$  и  $Z$  от суммарной нагрузки. Именно:

$$M_Y = M_Y^0 + k_Y M_A^1; \quad M_Z = M_Z^0 + k_Z M_A^1.$$

При надлежащем выборе величины  $M_A$ , элемент оси балки на опоре должен быть горизонтальным. Добавим мысленно еще один пролет с крайней опорой 0<sup>1</sup>.

Составим ур-ие трех моментов для пролетов  $YZ$  и  $ZO$ :

$$\begin{aligned} (M_Y^0 + k_Y M_A^1) \frac{L_{YZ}}{I_{YZ}} + 2 (M_Z^0 + k_Z M_A^1) \left( \frac{L_{YZ}}{I_{YZ}} + \frac{L_{ZO^1}}{I_{ZO^1}} \right) + \\ + M_{O^1} \frac{L_{ZO^1}}{I_{ZO^1}} + \frac{N_{YZ}}{I_{YZ}} = 0. \end{aligned}$$

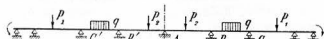
В этом ур-ии отпадают члены, содержащие  $I_{20}'$  в знаменателе, так как мы полагаем жесткость добавленного крайнего пролета бесконечной.

Решив это ур-ие относительно  $M_A^1$ , подставим найденное значение  $M_A^1$  в обычные суммарные формулы для опорных моментов.

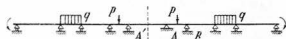
### Симметричное нагружение. \*

Если балка имеет ось симметрии, то расчет ее значительно упрощается. (Симметрия должна распространяться не только на нагрузки, но также на длины и жесткости соответственных пролетов).

Фиктивные пары будем располагать симметрично по обоим концам, и уравнения писать будем лишь для одной половины—правой,



Фиг. 1.



Фиг. 2.

выписывая их, начиная с пролетов  $B^1A$  и  $AB$  (фиг. 1) или  $A^1A$  и  $AB$  (фиг. 2), заключающих ось симметрии. При этом надо учесть, что моменты на одноименных опорах равны (вследствие симмет-

рии). Поэтому в первом уравнении вместо трех моментов будем иметь только два. Полагая один из них, например,  $M_A^0$  равным нулю, находим  $M_B^0$ , и т. д.. Исследовать приходится половину балки, и работа сокращается почти вдвое.

В заключение отметим ценное свойство предлагаемого способа. Если балку, рассчитанную при одной схеме нагрузки, надлежит проверить на другую форму нагружения, то второй расчет будет значительно проще первого, так как исследования балки на нагружение одной лишь парой сил при вторичном расчете производить не придется (оно уже сделано при первом расчете и результатами можно пользоваться для других случаев нагрузки).

Пример расчета.

Найти моменты на опорах балки с одинаковой жесткостью сечений во всех пролетах, нагруженной согласно данной схеме (фиг. 3).

Для данных условий задачи, ур-ие трех моментов представится в несколько более простом виде.

Именно:

$$M_A L_A + 2M_C (L_A + L_B) + M_B L_B + N_A + N_B = 0.$$



Фиг. 3.

Пользуясь табличкой значений  $N$ , пишем ур-ие для первой пары пролетов, полагая  $M_B = 0$ .

$$M_c^0 \cdot 5 + \frac{2400}{4} 4^3 + 6800 \cdot 3 \left(5 - \frac{3^2}{5}\right) = 0.$$

Отсюда  $M_c^0 = -20736$  кг·м.

Для второй пары пролетов— $BC$  и  $CD$ :

$$2 \cdot -20736 (5 + 6) + M_D^0 \cdot 6 + 6800 \cdot 2 \left(5 - \frac{2^2}{5}\right) + \\ + \frac{3000}{4 \cdot 6} (4^2 - 1^2) \cdot (2 \cdot 6^2 - 1^2 - 4^2) = 0.$$

$M_D^0 = 49324,5$  кг·м.

Для пролетов  $CD$  и  $DE$ :

$$-20736 \cdot 6 + 2 \cdot 49324,5 (6 + 4) + M_E^0 \cdot 4 + \\ + \frac{3000}{4 \cdot 6} (5^2 - 2^2 \cdot 2 \cdot 6^2 - 2^2 - 5^2) - 8000 \cdot 2 \left(4 - \frac{2^2}{4}\right) = 0,$$

откуда  $M_E^0 = -231737,2$  кг·м.

Для последней пары пролетов:

$$49324 \cdot 4 + 2 \cdot -231737 \cdot (4 + 3) + M_F^0 \cdot 3 - 8000 \cdot 2 \left(4 - \frac{2^2}{4}\right) = 0.$$

$$M_F^0 = 1031674,5 \text{ кг·м.}$$

Исследуем теперь балку при действия одной лишь пары справа. Для первой пары пролетов:

$$2 M_B^1 (4 + 5) + M_c^1 \cdot 5 = 0,$$

откуда

$$M_c^1 = -3,6 M_B^1.$$

Для пролетов  $BC$  и  $CD$ :

$$M_B^1 \cdot 5 + 2 \cdot (-3,6 M_B^1) \cdot (5 + 6) + M_D^1 \cdot 6 = 0;$$

$$M_D^1 = 12,366 M_B^1.$$

Для  $CD$  и  $DE$ :

$$-3,6 \cdot M_B^1 \cdot 6 + 2 \cdot 12,366 \cdot M_B^1 (6 + 4) + M_E^1 \cdot 4 = 0.$$

$$M_E^1 = -56,43 M_B^1.$$

Для пролетов  $DE$  и  $EF$

$$12,366 M_F \cdot 4 + 2 (-56,43 M_B) \cdot (4 + 3) + M_F' \cdot 3 = 0.$$

$$M_F' = 246,85 M_B.$$

При одновременном действии нагрузки момент на опоре  $F$  равен нулю. Значит:

$$1031674,5 \text{ кг} \cdot \text{м} + 246,85 M_B' = 0.$$

Отсюда

$$M_B' = -4179,3 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot M_B$$

Истинное значение момента на второй опоре найдено.

Теперь вычислим моменты на опорах  $C$ ,  $D$  и  $E$  по формуле (А).

$$M_C = -20736 \text{ кг} \cdot \text{м} + (-3,6) \cdot (-4179,3 \text{ кг} \cdot \text{м}) = -5690,5 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

$$M_D = 49324,5 \text{ кг} \cdot \text{м} + 12,366 (-4179,3 \text{ кг} \cdot \text{м}) = -2357 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

$$M_E = -231735 \text{ кг} \cdot \text{м} + (-56,34) (-4179,3 \text{ кг} \cdot \text{м}) = 4103 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

На крайних опорах  $A$  и  $F$  моменты равны нулю.

*Д. В. Ангельский.*

Инж. В. А. Гастев

ПРИМЕНЕНИЕ  
ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К РАСЧЕТУ ФЕРМ  
С ЖЕСТКИМИ УЗЛАМИ



## Применение графических методов к расчету ферм с жесткими узлами.

Вычисление дополнительных напряжений от жесткости узлов требует довольно больших и утомительных выкладок, при которых легко впасть в грубую ошибку. Вместе с тем, применяемый в большинстве случаев при решении этой задачи способ последовательных приближений в арифметической форме не дает достаточно ясной картины этих приближений. Таким образом, вполне естественно возникает мысль об использовании графического метода, который, обладая всеми своими особенностями, как-то: наглядность, механичность, очевидность ошибок и пр., может дать и точность, вполне достаточную для практики, по существу дела не меньшую, чем аналитический метод.

Графический метод определения дополнительных напряжений от жесткости узлов еще в прошлом столетии разработан Риттером.<sup>1</sup> Отличаясь довольно простыми построениями, метод этот требует большого числа приближений, т.-е. приводит к цели довольно медленно. Предложенный в последнее время американским инженером Т. Е. Мао<sup>2</sup> графический способ, при изыскании отдельных построений, отличается большой сложностью, так что по признанию *C. V. von Abo*, излагающего в своей статье метод Мао, число необходимых для решения задачи линий огромно. Кроме того, оба способа при изменении нагрузки на одну и ту же ферму требуют почти полного повторения, вследствие чего чрезвычайно осложняется нахождение линий влияния. Предложенные Ландсбергом,<sup>3</sup> Мюллер-Бреслау<sup>4</sup> и Энгессером<sup>5</sup> построения, основанные на теории неразрезных балок, совершенно не учитывают влияния решетки, что было допустимо при старых конструкциях и внушает сомнение при современных. Предлагаемый ниже

<sup>1</sup> Schweizerische Bauzeitung 1885; Anwendungen der graphischen Statik T. II. Zürich 1890, S. 171—208.

<sup>2</sup> См. C. V. von Abo Secondary Stresses in Bridges Proc. of the Am. Soc. Civ. Eng. 1924, Sept.

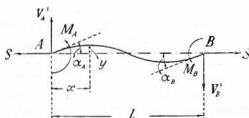
<sup>3</sup> Th. Landsberg, Zeitschr. des Hannover. Arch. und Ingen. Ver. 1885 und 1886; Ritter, l. c. S. 196—202.

<sup>4</sup> Müller-Breslau Allgem. Bauzeitung 1885, S. 85—89; 97—101.

<sup>5</sup> Fr. Engesser Die Zusatzkräfte und Nebenspannungen eis. Fachwerke T. II, S. 13—21; Berlin 1893.

в этой статье метод может дать известные преимущества для нахождения линий влияния при довольно элементарных построениях; в то же время он позволяет учесть и влияние решетки, а при некотором усложнении даже и влияние жесткости узлов на продольные усилия в стержнях.

**Основные уравнения.** Рассмотрим стержень  $AB$ , находящийся под действием продольных сил  $S$  и моментов  $M_A$  и  $M_B$ . Из условий равновесия стержня ясно, что на концах его должны быть приложены и вертикальные силы  $V'_A$  и  $V'_B$  (фиг. 1), величина которых  $V'_A = -V'_B = -\frac{M_A + M_B}{l}$ , при чем знаки моментов включены



Фиг. 1.

в их обозначение, положительное направление моментов — против часовой стрелки, положительное направление вертикальных сил — сверху вниз. Изгибающий момент в точке, находящейся от  $A$  на расстоянии  $x$ , равен:

$$M_x = M_A - Sy - V'_A y,$$

где  $y$  — ордината упругой линии в точке  $x$ .

Дифференциальное уравнение упругой линии:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M_A}{EI} + \frac{Sy}{EI} + \frac{V'_A x}{EI} \dots \dots \dots (1)$$

Если обозначить  $\frac{S}{EI}$  через  $n^2$ , то уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} - n^2 y = -\frac{M_A}{EI} + \frac{V'_A x}{EI}.$$

Общий интеграл его:

$$y = C_1 e^{nx} + C_2 e^{-nx} + \frac{M_A}{S} - \frac{V'_A x}{S} \dots \dots \dots (2)$$

при чем произвольные постоянные находятся из начальных условий:

$$y = 0 \text{ при } x = 0 \text{ и } x = l.$$

Таким образом:

$$C_1 = -\frac{M_A}{S} \frac{1 - e^{-nl}}{e^{nl} - e^{-nl}} + \frac{V'_A l}{S} \frac{1}{e^{nl} - e^{-nl}}$$

$$C_2 = \frac{M_A}{S} \frac{1 - e^{nl}}{e^{nl} - e^{-nl}} - \frac{V'_A l}{S} \frac{1}{e^{nl} - e^{-nl}}.$$

Углы поворота концов стержня

$$\alpha_A = \left( \frac{dy}{dx} \right)_{x=0} = C_1 n - C_2 n - \frac{V'A}{S}$$

$$\alpha_B = \left( \frac{dy}{dx} \right)_{x=l} = C_1 n e^{nl} - C_2 n e^{-nl} - \frac{V'A}{S}$$

или, после подстановки выражений для  $C_1$  и  $C_2$

$$\alpha_A = \frac{M_A n}{S} \frac{e^{nl} + e^{-nl} - 2}{e^{nl} - e^{-nl}} + \frac{V'A}{S} \left( \frac{2}{e^{nl} - e^{-nl}} nl - 1 \right)$$

$$\alpha_B = \frac{M_A n}{S} \frac{2 - e^{nl} - e^{-nl}}{e^{nl} - e^{-nl}} + \frac{V'A}{S} \left( \frac{e^{nl} + e^{-nl}}{e^{nl} - e^{-nl}} nl - 1 \right).$$

Применяя гиперболические функции, можем представить предидущие формулы в виде:

$$\alpha_A = \frac{M_A n}{S} \left( \operatorname{ctg} h nl - \frac{1}{\sin h nl} \right) + \frac{V'A}{S} \left( \frac{nl}{\sin h nl} - 1 \right)$$

$$\alpha_B = \frac{M_A n}{S} \left( \frac{1}{\sin h nl} - \operatorname{ctg} h nl \right) + \frac{V'A}{S} (nl \operatorname{ctg} h nl - 1)$$

или после преобразований:

$$\alpha_A = \frac{M_A n}{S} \operatorname{tg} h \frac{nl}{2} + \frac{V'A}{S} \left( \frac{nl}{\sin h nl} - 1 \right)$$

$$\alpha_B = -\frac{M_A n}{S} \operatorname{tg} h \frac{nl}{2} + \frac{V'A}{S} (nl \operatorname{ctg} h nl - 1).$$

Решая эти уравнения относительно  $M_A$ , найдем после преобразований:

$$\begin{aligned} M_A = \frac{S}{n} \cdot \frac{1}{nl} & \left\{ \left[ \frac{n^2 l^2}{2 \left( nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} - 2 \right)} + \frac{nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2}}{2} \right] \alpha_A + \right. \\ & \left. + \left[ \frac{n^2 l^2}{2 \left( nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} - 2 \right)} - \frac{nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2}}{2} \right] \alpha_B \right\} = \\ = \frac{EI}{l} & \left\{ \left[ \frac{n^2 l^2}{2 \left( nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} - 2 \right)} + \frac{nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2}}{2} \right] \alpha_A + \right. \\ & \left. + \left[ \frac{n^2 l^2}{2 \left( nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} - 2 \right)} - \frac{nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2}}{2} \right] \alpha_B \right\} \end{aligned}$$

или

$$M_A = \frac{2EI}{l} (2\alpha_A + b\alpha_B) \dots \dots \dots (3)$$

где

$$a = \frac{1}{8} \left( \frac{n^2 l^2}{nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} - 2} + nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} \right)$$

$$b = \frac{1}{4} \left( \frac{n^2 l^2}{nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} - 2} - nl \operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} \right)$$

Пользуясь разложением в ряд:

$$\operatorname{ctg} h x = \frac{1}{x} + \frac{x}{3} - \frac{x^3}{3^2 \cdot 5} + \frac{2x^5}{3^3 \cdot 5 \cdot 7} - \frac{x^7}{3^3 \cdot 5^2 \cdot 7} + \dots \dots \dots$$

который сходится абсолютно при  $0 < |x| < \pi$ .

имеем:

$$\operatorname{ctg} h \frac{nl}{2} = \frac{2}{nl} + \frac{nl}{6} - \frac{n^3 l^3}{2^3 \cdot 3^2 \cdot 5} + \frac{n^5 l^5}{2^4 \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 7} - \frac{n^7 l^7}{2^7 \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7} + \dots \dots (4)$$

Этот ряд сходится абсолютно при  $0 < \left| \frac{nl}{2} \right| < \pi$ , каковое условие в нашем случае, как легко убедиться, всегда выполнено.

Подставляя разложение (4) в выражения для  $a$  и  $b$  и пользуясь свойствами абсолютно сходящихся рядов, найдем

$$\left. \begin{aligned} a &= 1 + \frac{n^2 l^2}{30} - \frac{11 n^4 l^4}{25000} + \dots \dots \dots \\ b &= 1 - \frac{n^2 l^2}{60} + \frac{13 n^4 l^4}{25000} - \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

Совершенно аналогично найдем, что

$$M_B = \frac{2EI}{l} (2\alpha_B + b\alpha_A) \dots \dots \dots (6)$$

Выражения для  $a$  и  $b$ , подставив значения  $n$ , можно переписать в виде:

$$\left. \begin{aligned} a &= 1 + \frac{S l^2}{30 EI} - \frac{11 S^2 l^4}{25000 E^2 l^2} + \dots \dots \dots \\ b &= 1 - \frac{S l^2}{60 EI} + \frac{13 S^2 l^4}{25000 E^2 l^2} - \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

В большинстве случаев при расчете ферм с жесткими узлами полагают  $a = b = 1$ , так что:

$$\left. \begin{aligned} M_A &= \frac{2EI}{l} (2\alpha_A + \alpha_B) \dots \dots \dots \\ M_B &= \frac{2EI}{l} (2\alpha_B + \alpha_A) \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

Следует, однако, иметь в виду, что такое допущение может иногда привести к серьезным погрешностям. В самом деле, ошибка при определении  $a$  в таком случае не превосходит

$$\varepsilon_1 = \frac{Sl^2}{30 EI},$$

а  $b$

$$\varepsilon_2 = \frac{Sl^2}{60 EI}.$$

Но

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{Sl^2}{30 E \omega r^2} = \frac{\sigma \left(\frac{l}{r}\right)^2}{30 E} \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \varepsilon_2 &= \frac{Sl^2}{60 E \omega r^2} = \frac{\sigma \left(\frac{l}{r}\right)^2}{60 E} \cdot \cdot \cdot \cdot \end{aligned} \right\} \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (9)$$

где  $\sigma$ —основное напряжение в стержне от продольной силы,  $\omega$ —площадь его сечения,  $r$ —радиус инерции сечения. В поясах  $\frac{l}{r}$  в большинстве случаев не превосходит 30; принимая  $\sigma = 1000 \text{ кг/см}^2$ , найдем, что

$$\varepsilon_1 = \frac{1000 \times 30^2}{30 \times 2150000} = 0,014$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1000 \times 30^2}{60 \times 2150000} = 0,007$$

т.е. относительная погрешность в определении  $a$  и  $b$  при применении формул (8) не превосходит 1,4% и 0,7%. Погрешность в определении моментов по формулам (8) во всяком случае меньше 1,4%.

Не так обстоит дело с раскосами и стойками, в которых  $\frac{l}{r}$  велико и может достигать даже 200 (при очень слабой решетке), вследствие чего погрешность формул (8) резко возрастает. Например, для раскоса 3—4 ферм моста через Эльбу в Торгау, рассмотренных *Leitz*<sup>1</sup>ом и Чалышевым<sup>1</sup>,  $\frac{l}{r} = 102,5$ ;  $\sigma = 870 \text{ кг/см}^2$ , так что

$$\varepsilon_1 = \frac{870 \times 102,5^2}{30 \times 2150000} = 0,14$$

$$\varepsilon_2 = \frac{870 \times 102,5^2}{60 \times 2150000} = 0,07$$

<sup>1</sup> Der Eisenbau 1917, S. 131; Technicky List, 1922.

погрешность же в вычислении моментов по (8) достигает 7,5%. В стойке 8—9 та же погрешность моментов достигает 12%. Итак, вычисление моментов должно вестись по формулам:

$$\left. \begin{aligned} M_A &= \frac{2EI}{l} (2a\alpha_A + b\alpha_B) \dots \dots \dots \\ M_B &= \frac{2EI}{l} (2a\alpha_B + b\alpha_A) \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (10)$$

при чем для поясов без особой погрешности  $a = b = 1$ , для элементов же решетки:

$$\left. \begin{aligned} a &= 1 + \frac{SI^2}{30EI} \dots \dots \dots \\ b &= 1 - \frac{SI^2}{60EI} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

где  $S$  — продольное усилие; знак его  $+$  при растяжении, — при сжатии. Относительная погрешность в вычислении моментов при этом не будет превосходить в большинстве случаев практики 1—2%. Так как влияние решетки на углы поворота в одних случаях невелико, в других — ошибки в моментах на концах стержней решетки, сходящихся в одном узле, имеют обратные знаки, возможно в качестве 1-го приближения при определении углов поворота применять и формулы (8), с тем, чтобы потом внести поправку по формулам (10) и (11) в моменты на концах стержней решетки.

Вертикальные силы  $V'_A$  и  $V'_B$  выражаются, согласно предыдущему, следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} V'_A &= -\frac{M_A + M_B}{l} = -\frac{2(2a + b)EI}{l^2} (\alpha_A + \alpha_B) \dots \dots \\ V'_B &= \frac{M_A + M_B}{l} = \frac{2(2a + b)EI}{l^2} (\alpha_A + \alpha_B) \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots (12)$$

или, при  $a = b = 1$ ,

$$\left. \begin{aligned} V'_A &= -\frac{6EI}{l^2} (\alpha_A + \alpha_B) \dots \dots \\ V'_B &= \frac{6EI}{l^2} (\alpha_A + \alpha_B) \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

Обращаясь к рассмотрению ферм с жесткими узлами, заметим, что при деформации фермы от действия нагрузки, ввиду отсутствия в узлах шарниров, на концах стержней окажутся приложенными моменты; величину этих моментов на конце  $i$  стержня  $ik$  обозначим через  $M_{ik}$ , соответствующий угол поворота через  $\alpha_{ik}$ ; на конце  $k$  того же стержня  $M_{ki}$  и  $\alpha_{ki}$ . Вследствие наличия моментов  $M_{ik}$  и  $M_{ki}$ , к концам стержней должны быть, согласно вышеизложенному, приложены

вертикальные силы  $V'_{ik}$  и  $V'_{ki}$  или, что то же самое, концы стержней будут вызывать действие на узлы  $i$  и  $k$  сил  $V_{ik} = -V'_{ik}$  и  $V'_{ki} = -V'_{ki}$ , которые Г. П. Передерий<sup>1</sup> назвал „силами пружинности“. Силы эти направлены перпендикулярно к хордам, соединяющим концы стержней; суммируясь геометрически в каждом узле, они изменяют величины продольных усилий в стержнях фермы. Таким образом ферму с жесткими узлами можно рассматривать, как ферму с шарнирными узлами, нагруженную дополнительно силами  $V_{ik}$  и моментами  $M_{ik}$ .

Из условий равновесия узлов имеем в каждом узле

$$\Sigma M_{ik} = 0, \dots \dots \dots (14)$$

где суммирование распространяется на все стержни, сходящиеся в данном узле. Знак моментов и углов для удобства дальнейших последовательных построений примем обратный тому, что был принят выше, так что положительное направление соответствует вращению по часовой стрелке.

Число уравнений (14) равно числу узлов. Имея в виду (10) и (8), их можно представить также в виде:

$$\Sigma \frac{2EI_{ik}}{l_{ik}} (2a_{ik} \alpha_{ik} + b_{ik} \alpha_{ki}) = 0 \dots \dots \dots (15)$$

или

$$\Sigma \frac{2EI_{ik}}{l_{ik}} (2\alpha_{ik} + \alpha_{ki}) = 0 \dots \dots \dots (15')$$

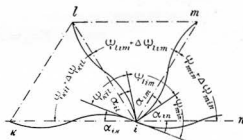
С другой стороны, из фиг. 2 видно, что:

$$\psi_{kil} + \Delta \psi_{kil} + \alpha_{il} = \psi_{kil} + \alpha_{ik}$$

или

$$\alpha_{il} = \alpha_{ik} - \Delta \psi_{kil} \dots \dots (16)$$

так что угол поворота  $\alpha_{il}$  конца каждого стержня из числа сходящихся в узле можно выразить через угол поворота  $\alpha_{ik}$  конца одного из стержней этого узла и приращение угла  $\Delta \psi_{kil}$  между направлениями соответствующих стержней шарнирной фермы. Общее число зависимостей (16), очевидно, равно удвоенному числу стержней фермы без числа узлов. При этом величины  $\Delta \psi_{kil}$  выражаются в функции полной нагрузки на ферму, а стало быть, для фермы с жесткими узлами,



Фиг. 2.

<sup>1</sup> Влияние жесткости узлов металлических ферм на усилия и напряжения в их элементах. Инженерное Дело 1904, №№ 1-2.

и от  $V_{ik}$ . Но, согласно (12) и (13), последние суть функции от углов поворота  $\alpha_{ik}$ ; следовательно, и величины  $\Delta\psi_{kil}$  суть функции от углов поворота  $\alpha_{ik}$ . Таким образом, для решения задачи имеем уравнения (15) и (16), число которых равно удвоенному числу стержней фермы, с таким же числом неизвестных углов поворота  $\alpha_{ik}$ . Найдя последние, можем определить все  $M_{ik}$  и  $V_{ik}$ , а следовательно, и дополнительные напряжения в стержнях фермы.

Однако, общее решение задачи, данное выше, практически чрезвычайно затруднительно, ввиду сложных и утомительных вычислений. Ввиду этого применяют целый ряд упрощений. Чаще всего при расчетах совсем пренебрегают силами  $V_{ik}$ , т. е. влиянием жесткости узлов на продольные усилия в стержнях фермы. Это предположение, значительно облегчая задачу, дает результаты, близкие к действительности, только в случаях ферм с простой решеткой.<sup>1</sup> В тех же случаях, когда силы  $V_{ik}$  в расчет принимаются, возможно пренебречь частью их, относящейся к решетке, как это и сделал проф. Г. П. Передерий.

В дальнейшем рассмотрим графический метод решения задачи для случая, когда влиянием жесткости узлов на продольные усилия в стержнях можно пренебречь, а затем попытаемся применить его и к более общему случаю.

**Графическое определение углов  $\alpha_{ik}$  в случае, когда влиянием жесткости узлов на продольные усилия можно пренебречь.** Для решения задачи воспользуемся уравнениями (15) или (15') и (16), причем, во избежание дробей, за неизвестные примем  $E\alpha_{ik}$ , а вместо приращений углов  $\Delta\psi_{kil}$  возьмем величины  $E\Delta\psi_{kil}$ . Введем обозначения:  $E\alpha_{ik} = A_{ik}$ ,  $E\Delta\psi_{kil} = \Psi_{kil}$ . Тогда наши уравнения примут вид

$$A_{il} = A_{ik} - \Psi_{kil} \dots \dots \dots (16a)$$

$$\sum \frac{I_{ik}}{l_{ik}} (2a_{ik}A_{ik} + b_{ik} \cdot A_{ki}) = 0 \dots \dots \dots (15'a)$$

или

$$\sum \frac{I_{ik}}{l_{ik}} (2A_{ik} + A_{ki}) = 0 \dots \dots \dots (15'a)$$

и задача сводится к решению этих уравнений.

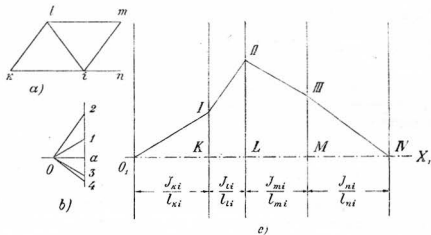
Для нахождения величин  $\Psi_{kil}$  Риттер<sup>2</sup> предложил следующий способ (фиг. 3):

<sup>1</sup> См. цитированную статью Г. П. Передерия. Инженерное Дело 1904 г. №№ 1—2.

<sup>2</sup> Ritter Anw. der graphischen Statik, Zürich 1890 Т. II, S. 176.



Переходя к уравнениям (15а) или (15'а), заметим, что при заданных  $A$  они легко могут быть представлены графически следующим образом. Возьмем, например, узел  $i$  (фиг. 5). На горизонтальной пря-



Фиг. 5.

мой  $OX$  отложим отрезок  $Oa = 1$ , проведем через точку  $a$  вертикальную прямую и на ней отложим  $a1 = 2A_{ik} + A_{ki}$ ;  $a2 = 2A_{il} + A_{li}$ ;  $a3 = 2A_{im} + A_{mi}$ ;  $a4 = 2A_{in} + A_{ni}$ , причем положительные величины откладываем вверх, отрицательные вниз. На прямой  $O_1X_1$  отложим в том же масштабе, что и  $Oa$ , величины

$$\frac{I_{ki}}{l_{ki}}, \quad \frac{I_{li}}{l_{li}}, \quad \frac{I_{mi}}{l_{mi}}, \quad \frac{I_{ni}}{l_{ni}};$$

через полученные точки проведем вертикальные прямые и затем прямые  $0_1I \parallel 01$ ;  $I-II \parallel 02$ ;  $II-III \parallel 03$ ;  $III-IV \parallel 04$ .

Легко убедиться, что в таком случае:

$$K-I = \frac{I_{ki}}{l_{ki}} (2A_{ik} + A_{ki});$$

$$L-II = \frac{I_{ki}}{l_{ki}} (2A_{ik} + A_{ki}) + \frac{I_{li}}{l_{li}} (2A_{il} + A_{li})$$

$$M-III = \frac{I_{ki}}{l_{ki}} (2A_{ik} + A_{ki}) + \frac{I_{li}}{l_{li}} (2A_{il} + A_{li}) + \frac{I_{mi}}{l_{mi}} (2A_{im} + A_{mi})$$

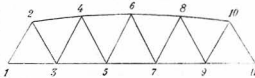
и т. д. В силу уравнения (15'а) последняя ордината, очевидно, должна быть равна нулю. Если же уравнение (15'а) не удовлетворяется, то последняя ордината дает по величине и знаку значение левой части.

Изложенные построения можно применить к нахождению одной из величин  $A$  при известных всех остальных, входящих в уравнение (15'а).

Пусть, например, неизвестно  $A_{ni}$ . Тогда в предыдущем построении неизвестен отрезок 04 и, стало-быть, направление III—IV. Но из условия (15'а) последняя ордината должна быть равна нулю, т. е. точка IV должна лежать на оси  $O_1X_1$ . Соединив эту точку с III и проведя  $04 \parallel \text{III—IV}$ , найдем  $2A_{in} + A_{ni}$ , а следовательно, и  $A_{ni}$ .

После этого можем утверждать, что, зная какие-нибудь две величины  $A_{ik}$  и  $A_{ki}$  для двойного узла, указанными построениями найдем все остальные.

Пусть, например, известны  $A_{12}$  и  $A_{21}$  (фиг. 6). Тогда построением фиг. 4 найдем  $A_{13}$ ,  $A_{23}$ ,  $A_{24}$ . Выполняя для узла 1 построение фиг. 5, найдем  $A_{31}$ , а следовательно, и  $A_{32}$ ,  $A_{34}$ ,  $A_{35}$ . Переходя к узлу 2, для которого уравнение (15'а) имеет вид



Фиг. 6.

$$\frac{I_{12}}{l_{12}} (2A_{21} + A_{12}) + \frac{I_{23}}{l_{23}} (2A_{23} + A_{32}) + \frac{I_{24}}{l_{24}} (2A_{24} + A_{42}) = 0,$$

построением фиг. 5 найдем  $A_{42}$ , а затем по фиг. 4 и  $A_{43}$ ,  $A_{45}$ ,  $A_{46}$ . Из уравнения (15'а) для узла 3 найдем по фиг. 5  $A_{53}$ , а по фиг. 4  $A_{54}$ ,  $A_{56}$ ,  $A_{57}$ . Продолжая идти тем же путем, будем находить  $A_{64}$ ,  $A_{75}$ ,  $A_{86}$ ,  $A_{97}$  и, наконец, из построений фиг. 5 для узлов 8 и 9 получим  $A_{108}$ ,  $A_{119}$  и по фиг. 4  $A_{109}$ ,  $A_{1011}$ ,  $A_{1110}$ . Если начальные величины  $A_{12}$  и  $A_{21}$  взяты правильно и построение ведось достаточно тщательно, то построения фиг. 5 для узлов 10 и 11 должны дать последние ординаты = 0. Задача свелась таким образом к выполнению построений по фиг. 5 в числе, равном числу узлов, а при симметричной ферме и нагрузке — половине числа узлов.<sup>1</sup>

Так как величины  $A_{12}$  и  $A_{21}$  нам неизвестны, то для их нахождения прибегнем к следующему способу<sup>2</sup>. Примем  $A_{12} = A_{21} = 0$  и найдем все остальные величины  $A_{ik}$ ; их значения в этом случае обозначим  $\mathcal{A}_{ik}$ . При этом уравнения (15'а) для 2 последних узлов, вообще говоря, не удовлетворятся, и с помощью построения по фиг. 5 получим для их левых частей значения  $P$  и  $Q$ . Положим далее  $A_{12} = 1$ ,  $A_{21} = 0$ , все  $\mathcal{A}_{ikl} = 0$ ; и  $A_{12} = 0$ ,  $A_{21} = 1$ , все  $\mathcal{A}_{ikl} = 0$ , и пусть указанными выше построениями получим в первом случае:  $A_{ik} = a'_{ik}$  и для 2 последних узлов:

$$\sum \frac{I_{ik}}{l_{ik}} (2A_{ik} + A_{ki}) = p', \quad \sum \frac{I_{lm}}{l_{lm}} (2A_{lm} + A_{ml}) = q';$$

<sup>1</sup> При наших построениях мы пользовались формулами (15'а). Очевидно, что дело не изменится существенно в случае применения (15а).

<sup>2</sup> Fr. Engesser. Die Zusatzkräfte und Nebenspannungen eis. Fachw. T. II Berlin 1893, S. 7.

во втором случае:

$$A_{ik} = a''_{ik}, \quad \sum \frac{I_{ik}}{l_{ik}} (2A_{ik} + A_{ki}) = p'',$$

$$\sum \frac{I_{lm}}{l_{lm}} (2A_{lm} + A_{ml}) = q''.$$

Определим теперь  $A_{12}$  и  $A_{21}$  так, чтобы:

$$P - A_{12} p' - A_{21} p'' = 0; \quad Q - A_{12} p' - A_{21} q'' = 0$$

откуда:

$$A_{12} = \frac{Pq'' - Qp''}{p'q'' - q'p''}; \quad A_{21} = \frac{Qp' - Pq'}{p'q'' - q'p''} \dots \dots \dots (18)$$

Исправленные значения  $A_{ik}$  будут:

$$A_{ik} = \mathfrak{A}_{ik} + A_{12} a'_{ik} + A_{21} a''_{ik} \dots \dots \dots (19)$$

Так как величины  $a'_{ik}$ ,  $p'$ ,  $q'$ ;  $a''_{ik}$ ,  $p''$ ,  $q''$  определялись при  $\mathfrak{V}_{ikl} = 0$ , т.е. не меняются при изменении нагрузки, то их достаточно построить для данной фермы один раз, и при изменении нагрузки остается лишь каждый раз вновь строить величины  $\mathfrak{A}_{ik}$ ,  $P$ ,  $Q$ . Вследствие этого, для построения линий влияния достаточно построить  $\mathfrak{A}_{ik}$ ,  $P$ ,  $Q$  для установки груза 1 во всех узлах нижнего или верхнего пояса; число построений будет равно числу узлов, в которых сила 1 устанавливается; для симметричных ферм число построений уменьшается вдвое.

Применение изложенного метода в случае учета влияния жесткости узлов на продольные усилия в стержнях. В этом случае задача может быть решена путем последовательных приближений. Пренебрегая сначала действием сил  $V_{ik}$ , построим по изложенному выше способу линии влияния для сумм этих сил в каждом узле фермы, пользуясь формулами

$$\left. \begin{aligned} V_{ik} &= -\frac{6EI_{ik}}{l_{ik}^2} (\alpha_{ik} + \alpha_{ki}) = -\frac{6I_{ik}}{l_{ik}^2} (A_{ik} + A_{ki}) \cdot \\ V_{ki} &= \frac{6EI_{ik}}{l_{ik}^2} (\alpha_{ik} + \alpha_{ki}) = \frac{6I_{ik}}{l_{ik}^2} (A_{ik} + A_{ki}) \cdot \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots (20)$$

По данной нагрузке найдем эти суммы; введя их в данную нагрузку, повторим определение  $\Sigma V_{ik}$  и т. д., до тех пор, пока не достигнем надлежащей сходимости. При этом можно ограничиться только силами  $V_{ik}$ , действующими по контуру фермы, пренебрегая влиянием этих сил, возникающих от жесткости решетки, как это делал Г. П. Передерий. Найдя таким образом силы  $V_{ik}$  и включив их в действующую нагрузку, можем найти и все остальные величины.

*В. А. Густев.*

Инж. Г. К. Евграфов

НАПРЯЖЕНИЯ В БАЛКАХ  
ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ  
ОТ ДЕФОРМАЦИИ ПОЯСОВ



## Напряжения в балках проезжей части железнодорожных мостов от деформации поясов.

Расчет пролетных строений металлических мостов, как известно, производится разложением пространственной системы жестко-скрепленных стержней на ряд плоских, по большей части, шарнирных систем.

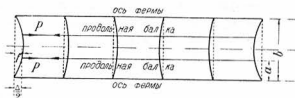
Напряжения в элементах ферм и проезжей части, полученные таким путем, считаются основными. Величина действительных напряжений будет иная; основные напряжения корректируются напряжениями дополнительными.

Определение последних необязательно при обычных технических расчетах; тем не менее, изучение этой области, думается, имеет немаловажное значение, с одной стороны для правильного задания допускаемых напряжений, с другой—для рационального конструирования.

К числу дополнительных напряжений, между прочим, относятся напряжения в поперечных балках от изгиба их в горизонтальной плоскости, как следствие деформации поясов.

Подсчет этих напряжений, в предположении изгиба крайней поперечной балки на половину полного удлинения поясов дает весьма значительные дополнительные напряжения уже при относительно небольших пролетах.

Приравнявая горизонтальный прогиб поперечной балки  $f$ , выраженный через силы  $P$  (фиг. 1), половине удлинения поясов, находим:



Фиг. 1.

$$f = \frac{\Delta}{2}$$

$$\frac{Pa^3}{6 EJ} (3b - 4a) = \frac{\Sigma \sigma d}{2 E}$$

$\sigma$  — напряжения в нижнем поясе, откуда:

$$P = \frac{\Sigma \sigma d}{2\alpha}, \text{ где } \alpha = \frac{a}{6J} (3b - 4a)$$

Если  $\sigma_0$  — среднее напряжение в поясе, т. е.

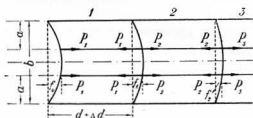
$$\sigma_0 = \frac{\Sigma \sigma}{2n}, \text{ } 2n \text{ — число панелей, то}$$

$$P = \frac{n d \sigma_0}{\alpha} = \frac{l \sigma_0}{2\alpha} \dots \dots \dots (1)$$

При выводе формулы (1) растяжением продольных балок пренебрегается, вследствие чего величина сил  $P$  получена преувеличенной. Ниже приводится метод расчета, учитывающий влияние удлинения продольных балок.

Характер изгиба поперечных балок изображен на фиг. 2.

Введем следующие обозначения:



- $d$  — длина панели,
- $a$  — расстояние от оси фермы до оси продольной балки,
- $b$  — расстояние между осями ферм,

Фиг. 2.

$J_0$  — момент инерции крайней поперечной балки относительно вертикальной оси,

$J$  — то же, для остальных поперечных балок,

$F$  — площадь поперечного сечения продольной балки,

$\omega_k$  — площади поперечных сечений нижнего пояса ферм в разных панелях,

$P_k$  — растягивающие усилия в продольных балках,

$U_k$  — усилия в нижнем поясе по обычному расчету,

$f_k$  — прогиб поперечной балки в горизонтальной плоскости,

$\sigma_k$  — напряжения в нижнем поясе,

$E$  — модуль нормальной упругости.

Для первой панели справедливо следующее соотношение (фиг. 2):

$$f_0 + d + \frac{P_1 d}{EF} - f_1 = d + \frac{(U_1 - P_1)d}{E \omega_1} \dots \dots \dots (2)$$

Усилие в поясе принято равным  $U_1 - P_1$ , так как, очевидно, что растягивающие усилия в продольных балках уменьшают величину усилий в поясах. Влияние горизонтальных связей и других причин второстепенного характера на напряжения в поясах не учитывается (учет всех этих факторов может быть, при желании, введен в величину  $U$ ).

Заменяя в равенстве (2)  $f_0$  и  $f_1$  через

$$f_0 = \frac{P_1 a^2}{6 E J_0} (3b - 4a) = \frac{P_1 \alpha_0}{E}$$

$$f_1 = \frac{(P_2 - P_1) a}{6 E J} (3b - 4a) = \frac{(P_2 - P_1) x}{E}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{где } \alpha_0 &= \frac{1}{6 J_0} (3b - 4a) \\ \text{и } \alpha &= \frac{1}{6 J} (3b - 4a) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2a)$$

имеем:

$$P_2 = \left( 1 + \frac{x_0}{x} + \frac{d}{\omega_1 \alpha} + \frac{d}{F x} \right) P_1 - \frac{U_1 d}{\omega_1 \alpha}$$

Для второй панели равенство, аналогичное равенству (2), принимая во внимание, что

$$f_2 = \frac{(P_3 - P_2) \alpha}{E},$$

даёт:

$$P_3 = \left( 2 + \frac{d}{\omega_2 x} + \frac{d}{F x} \right) P_2 - P_1 - \frac{U_2 d}{\omega_2 \alpha}.$$

Вообще, до тех пор, пока  $P_{k+1} > P_k$ , т.е. до тех пор, пока горизонтальный изгиб поперечной балки происходит выпуклостью от опор внутрь пролёта,

$$\left. \begin{aligned} P_2 &= A_1 P_1 - \frac{\sigma_2 d}{\alpha} \\ \dots \dots \dots \\ P_{k+1} &= A_k P_k - P_{k-1} - \frac{\tau_k d}{\alpha} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

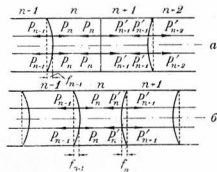
В этих уравнениях

$$A_1 = 1 + \frac{\alpha_0}{\alpha} + \frac{d}{\omega_1 \alpha} + \frac{d}{F x}$$

$$A_k = 2 + \frac{d}{\omega_k \alpha} + \frac{d}{F x}.$$

Начиная составление ур-ий с другого конца, получим зависимости, аналогичные (3), но ведущие начало от  $P_m$ , где  $m$  номер последней панели.

В каком то месте произойдет перемена направления выпуклости, изогнутой в горизонтальной плоскости балки. Возможны два случая: по фиг. 3а или фиг. 3б.



Фиг. 3.

По схеме фиг. 3а

$$f_{n-1} = \frac{(U_n - P_n)d}{E\omega} - \frac{P_n d}{EF}$$

или, после соответствующих подстановок,

$$\left. \begin{aligned} P_n (A_n - 1) &= P_{n-1} + \frac{\sigma_n d}{\alpha} \\ \text{и} \quad P_n &= P'_{n+1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

По схеме фиг. 3б

$$\frac{(U_n - P_n)d}{\omega_n E} = \frac{P_n d}{F} + f_{n-1} + f_n$$

Что приводит к:

$$\left. \begin{aligned} P_n A_n &= P_{n+1} + P_{n-1} + \frac{U_n d}{\omega_n} \\ \text{кроме того:} \quad P_n &= P'_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

$P'_{n+1}$  и  $P'_n$  — усилия в продольных балках, входящие в ур—ния, начатые составлением с другого конца.

Таким образом, нахождение растягивающих усилий в продольных балках и, следовательно, дополнительных напряжений в поперечных, сводится к системе ур—ний (3) совокупно с 2 замыкающими ур—ями (4) или (5).

Решение этих ур—ий не представляет затруднений, так как все неизвестные  $P_k$  могут быть выражены через  $P_1$  и  $P_m$ ; для отыскания последних служат ур—ия (4) или (5).

Выражения для  $P_k$  будут заключать два члена: с неизвестным  $P_1$  или  $P_m$  и свободный:

$$P_k = C_k P_1 - N_k.$$

Проследив постепенное решение ур—ий (3), не трудно убедиться, что

$$\left. \begin{aligned} C_k &= A_{k-1} \cdot C_{k-1} - C_{k-2} \\ \text{и} \quad N_k &= A_{k-1} \cdot N_{k-1} - N_{k-2} + \frac{\sigma_{k-1} d}{\alpha} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

Нахождение  $C_k$  и  $N_k$  может быть быстро выполнено в табличной форме, как показано в приведенном ниже примере. Местоположение панели, замыкающей ур—ия, определяется условием: что (фиг. 3а)

$$\left. \begin{aligned} P_n &> P_{n-1} > P_{n-2} \dots \dots \dots \\ \text{в одну сторону, и} \\ P'_{n-1} &> P'_{n-2} > P'_{n-3} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

в другую.

По схеме фиг. 3б, это условие

$$\dots < P_{n-2} < P_{n-1} < P_n > P'_{n+1} > P'_{n+2} > \dots \quad (8)$$

Для симметрично расположенной нагрузки панель раздела выпуклостей поперечных балок находится посередине пролета (схема 3а при четном числе панелей и схема 3б при нечетном). В противном случае — сдвигается в сторону больших напряжений и может быть найдена пробными решениями ур-ий (4) или (5) для разных предположений. Правильным предположением будет то, которое удовлетворяет условиям (7) или (8).

В виде примера ниже приводится расчет дополнительных напряжений в поперечных балках для пролетного строения, спроектированного по нормам 1921 г. (I категория) расчетным пролетом 128 м в предположении устройства всех поперечных балок одинаковыми.

### Пример расчета дополнительных напряжений в поперечных балках пролетного строения $l=128$ м.

Данные для расчета:

|                                                                               |                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Расстояние между осями ферм . . . . .                                         | $b = 6,7$ м.                   |
| Длина панели . . . . .                                                        | $d = 6,4$ м.                   |
| Число панелей . . . . .                                                       | $2n = 20$ .                    |
| Расстояние от оси фермы до продольной балки . . . . .                         | $a = 2,4$ м.                   |
| Момент инерции поперечной балки относительно вертикальной оси . . . . .       | $J = 13138$ см <sup>4</sup> .  |
| Площадь поперечного сечения продольных балок . . . . .                        | $F = 268,52$ см <sup>2</sup> . |
| Момент сопротивления поперечной балки относительно вертикальной оси . . . . . | $W = 1.078$ см <sup>3</sup> .  |
| Напряжения в поясах приняты равными расчетным напряжениям.                    |                                |

По ф-ле (2а):

$$\alpha_o = \alpha = \frac{2,4 \times 10^8}{26 \times 13.138} (3 \times 6,7 - 4 \times 2,4) = 767,22 \frac{1}{\text{см}}.$$

$$\frac{d}{z} = \frac{640}{767,22} = 0,8342 \text{ см}^2.$$

$$\frac{d}{Fz} = \frac{0,8342}{268,52} = 0,00311.$$

В таблице I помещено вычисление величин  $A_k$  (по ф-ле 3) и  $\frac{\sigma_k d}{\alpha}$ .

ТАБЛИЦА I.

| № панели<br>K | Площадь<br>поперечного<br>сечения<br>нижн. пояса<br>$w_k$<br>см <sup>2</sup> | $\frac{d}{w_k \alpha}$ | $A = 2 + \frac{d}{w_k \alpha} +$<br>$+\frac{d}{F \alpha}$ | Напряжен.<br>в нижнем<br>поясе $\sigma_k$<br>кг/см <sup>2</sup> | $\frac{\sigma_k d}{\alpha}$ |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1 и 2         | 429,5                                                                        | 0,00194                | 2,00505                                                   | 815                                                             | 680                         |
| 3 и 4         | 844,1                                                                        | 0,00099                | 2,00410                                                   | 1100                                                            | 918                         |
| 5 и 6         | 885,5                                                                        | 0,00094                | 2,00405                                                   | 1045                                                            | 872                         |
| 7 и 8         | 1073,9                                                                       | 0,00078                | 2,00389                                                   | 1050                                                            | 876                         |
| 9 и 10        |                                                                              |                        |                                                           |                                                                 |                             |
| Среднее       |                                                                              |                        | 2,004196                                                  | 1012                                                            |                             |

Вычисление величин  $C_k$  и  $N_k$  (Ф-ла 6) дано в таблице II.

ТАБЛИЦА II

| Панель<br>K | $A_{k-1}$ | $C_k = C_{k-1} \cdot \frac{A_{k-1} - C_{k-2}}{-C_{k-2}}$ | $\frac{\sigma_{k-1} d}{\alpha}$ | $N_k = N_{k-1} \frac{A_{k-1} - N_{k-2}}{-N_{k-2}} + \frac{\sigma_{k-1} d}{\alpha}$ |
|-------------|-----------|----------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | —         | 1                                                        | —                               | 0                                                                                  |
| 2           | 2,00505   | 2,00505                                                  | 680                             | 680                                                                                |
| 3           | 2,00505   | 3,02023                                                  | 680                             | 2043,43                                                                            |
| 4           | 2,00410   | 4,04779                                                  | 918                             | 4333,24                                                                            |
| 5           | 2,00410   | 5,09195                                                  | 918                             | 7588,82                                                                            |
| 6           | 2,00405   | 6,15673                                                  | 872                             | 11687,01                                                                           |
| 7           | 2,00405   | 8,24644                                                  | 872                             | 16734,53                                                                           |
| 8           | 2,00389   | 8,36434                                                  | 876                             | 22723,15                                                                           |
| 9           | 2,00389   | 9,51478                                                  | 876                             | 29676,16                                                                           |
| 10          | 2,00389   | 10,70223                                                 | 876                             | 37620,61                                                                           |

Применяя затем ур-ие (4):

$$(10,70223 P_1 - 37620,61) 1,00389 = 9,51478 P_1 - 29676,16 + 876$$

находим:

$$P_1 = P_{10} = 7295,53 \text{ кг.}$$

Тоже усилие  $P_p$  вычисленное по Ф-ле (1):

$$(P_1) = \frac{10 \times 1012 \times 640}{767,22} = 8440 \text{ кг.}$$

Отношение точного значения  $P_1$  к приближенному

$$\frac{P_1}{(P_1)} = \frac{7295}{8440} = 0,86.$$

Дополнительное напряжение в крайней поперечной балке

$$\sigma = \frac{P_1 a}{W} = \frac{7295 \times 2,4}{1078} = 1620 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение чрезвычайно высокое.

Чтобы выяснить расхождение между приближенным и точным расчетом, при различных обстоятельствах, введем некоторые упрощения, не влияющие существенно на результат.

Как видно из приведенного выше примера, множители  $A$  отличаются от 2 на весьма небольшую величину. Это замечание справедливо, как показывают подсчеты и для других частных случаев.

Поэтому, полагая:

$$A_k = 2 + a_k,$$

при составлении выражений для  $C_k$  и  $N_k$  в ур-нях (5) можно произведениями различных  $a_k$  друг на друга пренебречь без особого ущерба для точности.

Приняв сказанное во внимание и применяя ф-лу (6), найдем:

$$\begin{aligned} C_2 &= 2 + a_1 \\ C_3 &= 3 + 2(a_1 + a_2) \\ C_4 &= 4 + 3(a_1 + a_2) + 4a_3 \\ C_5 &= 5 + 4(a_1 + a_2) + 6(a_2 + a_3) \\ C_6 &= 6 + 5(a_1 + a_2) + 8(a_2 + a_3) + 9a_4 \\ C_7 &= 7 + 6(a_1 + a_2) + 10(a_2 + a_3) + 12(a_3 + a_4) \\ C_8 &= 8 + 7(a_1 + a_2) + 12(a_2 + a_3) + 15(a_3 + a_4) + 16a_5 \\ C_k &= k + (k-1)(a_1 + a_{k-1}) + 2(k-2)(a_2 + a_{k-2}) + \\ &+ 3(k-3)(a_3 + a_{k-3}) + 4(k-4)(a_4 + a_{k-4}) + \dots \end{aligned}$$

Точно также:

$$\begin{aligned} N_2 &= \frac{\sigma_1 d}{\alpha} \\ N_3 &= (2 + a_2) \frac{\sigma_1 d}{\alpha} + \frac{\sigma_2 d}{\alpha} \\ N_4 &= (3 + a_2 + 2a_3) \frac{\sigma_1 d}{\alpha} + (2 + a_3) \frac{\sigma_2 d}{\alpha} + \frac{\sigma_3 d}{\alpha} \\ N_5 &= (4 + 3a_2 + 4a_3 + 3a_4) \frac{\sigma_1 d}{\alpha} + (3 + 2a_3 + 2a_4) \frac{\sigma_2 d}{\alpha} + \\ &+ (2 + a_4) \frac{\sigma_3 d}{\alpha} + \frac{\sigma_4 d}{\alpha} \\ N_6 &= (5 + 6a_2 + 6a_3 + 5a_4 + 4a_5) \frac{\sigma_1 d}{\alpha} + (4 + 3a_3 + 3a_4 + 3a_5) \frac{\sigma_2 d}{\alpha} + \\ &+ (3 + 2a_4 + 2a_5) \frac{\sigma_3 d}{\alpha} + (2 + a_5) \frac{\sigma_4 d}{\alpha} + \frac{\sigma_5 d}{\alpha} \dots \text{ и т. д.} \end{aligned}$$

Полагая, далее, изгиб балок по схеме  $3a$ , и подставляя найденные выше значения  $C$  и  $N$  в ур-не (4), которое можно представить в виде:

$$B_n P_1 = D_n$$

получим:

$$B_n = C_n(2 + a_n - 1) - C_{n-1} = 1 + a_1 + 2a_2 + 3a_3 + \dots + \dots + (n-1)a_n + na_n$$

и

$$D_n = N_n(2 + a_n - 1) - N_{n-1} + \frac{\sigma_n d}{\alpha} = [(n-1)a_n + (n-2)a_{n-1} + (n-3)a_{n-2} + \dots + 2a_3 + 2a_2 + 1] \frac{\sigma_1 d}{\alpha} + [(n-2) \cdot a_n + (n-3)a_{n-1} + (n-4)a_{n-2} + \dots + a_3 + 1] \frac{\sigma_2 d}{\alpha} + \dots + (a_n + 1) \frac{\sigma_{n-1} d}{\alpha} + \frac{\sigma_n d}{\alpha}.$$

Или, заменяя напряжения  $\sigma_1, \sigma_2, \dots$  средним напряжением  $\sigma_0$ .

$$D_n = [n + [1 + 2 + 3 + \dots + (n-1)]a_n + [1 + 2 + \dots + (n-2)] \cdot a_{n-1} + \dots + (1+2)a_3 + 2a_2] \frac{\sigma_0 d}{\alpha}.$$

Таким образом:

$$P_1 = \frac{n + \frac{(n-1)n}{2} a_n + \frac{(n-2)(n-1)}{2} a_{n-1} + \dots + 3a_3 + 2a_2}{1 + a_1 + 2a_2 + 3a_3 + \dots + (n-1)a_{n-1} + na_n} \frac{\sigma d}{\alpha}.$$

Дальнейшее упрощение состоит в замене  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , средним значением  $\sigma_0$ , тогда:

$$P_1 = \frac{n + \left[ \frac{(n-1)n}{2} + \frac{(n-2)(n-1)}{2} + \dots + 3 + 2 \right] a_0}{1 + \frac{(n+1)n}{2} a_0} \left( \frac{\sigma d}{\alpha} \right) \dots (9)$$

Применяя формулу (9) к решенному выше примеру, найдем:

$$P_1 = \frac{8909,7}{1,2207} = 7290,0 \text{ кг}$$

что отличается от найденного ранее значения  $P_1 = 7295,5 \text{ кг}$  всего на 0,08%.

Имея формулу (9), нетрудно выяснить влияние учета растяжения продольных балок на величину сил  $P$ . Для этого достаточно вычислить коэффициент перед  $\frac{\sigma d}{\alpha}$  в формуле (9) и сравнить его с  $n$  — коэффициентом перед той же величиной в формуле (1).

Это и сделано в таблице III.

ТАБЛИЦА III.

| Число панелей $2n$ | Коэфф. перед $\frac{\sigma d}{\alpha}$ в формуле (9) | Отношения значений $P$ , по формуле (9) и по формуле (1) при $a_0 =$ |        |        |
|--------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------|--------|
|                    |                                                      | 0,0030                                                               | 0,0042 | 0,0073 |
| 20                 | $\frac{1 + 16,6a_0}{1 + 55a_0} n$                    | 0,901                                                                | 0,869  | 0,800  |
| 18                 | $\frac{1 + 13,44a_0}{1 + 45a_0} n$                   | 0,917                                                                | 0,889  | 0,827  |
| 16                 | $\frac{1 + 10,63a_0}{1 + 36a_0} n$                   | 0,931                                                                | 0,907  | 0,853  |
| 14                 | $\frac{1 + 8,143a_0}{1 + 28a_0} n$                   | 0,945                                                                | 0,925  | 0,880  |
| 12                 | $\frac{1 + 6,00a_0}{1 + 21a_0}$                      | 0,958                                                                | 0,942  | 0,905  |

Из таблицы III видно, что влияние растяжимости продольных балок на напряжения в поперечных становится более или менее ощутимым лишь при большом числе панелей, и тем более, чем больше  $a_0$ . Так как:

$$a_0 = \frac{d}{\alpha} \left( \frac{1}{F} + \frac{1}{\omega_0} \right),$$

то, чем больше жесткость поперечной балки, чем меньше площади поперечного сечения продольной балки и нижнего пояса и чем больше длина панели, — тем отчетливее становится различие в результатах точного и приближенного (по форм. 1) методов расчета.

Во всех изложенных выше выводах величина модуля упругости для продольных балок принималась такой же, как и для нижнего пояса; тем самым влияние заклепочных соединений на деформации считалось одинаковым, как для продольных балок, так и для нижнего пояса.

Возможно, что в месте прикрепления продольных балок к поперечным происходят относительно большие деформации, чем в узлах ферм. В тех пролетных строениях, в которых прикрепление продольных балок выполнено при участии рыбок, вряд ли различие в дефор-

мациях будет значительным, в особенности, если учесть, что сравнительно небольшие усилия в продольных балках вызывают изгиб поперечных балок.

Кроме того, даже сильное изменение модуля упругости продольных балок не так резко отражается на величине сил, создающих горизонтальный изгиб поперечных балок.

Так, например, если предположить, что для продольных балок следует принять  $E = 1 \times 10^6$  кг/см<sup>2</sup>, вместо  $E = 2 \times 10^6$  кг/см<sup>2</sup>, справедливых по отношению к фермам, то (взяты средние значения):

$$A = 2,004196 + \frac{d}{Fz} = 2,004196 + 0,00311 = 2,00731$$

$$a_0 = 0,00731$$

и из таблицы III (2 последние графы) видно, что изменения величины сил  $P$  при этом незначительны.

Приведенные выше расчеты показывают, что дополнительные напряжения в поперечных балках от деформации поясов могут достигать весьма значительных величин.

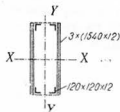
Для борьбы с этим явлением, как известно, применяется устройство продольно-подвижных прикреплений продольных балок к поперечным, разделяющих всю проезжую часть на несколько самостоятельных участков, или устройство по концам пролетного строения жестких в горизонтальной плоскости креплений — тормозных рам.

Последний способ, однако, неудобен в том отношении, что является причиной больших дополнительных растягивающих напряжений в продольных балках.

Величина этих напряжений может быть подсчитана по тем же формулам. При очень жестких тормозных рамах, помещенных у опор, можно положить  $\alpha_0 = 0$ .

В некоторых случаях дополнительные напряжения в проезжей части могут быть уменьшены устройством опорных поперечных балок с увеличенной, но умеренной, соответственно подобранной, горизонтальной жесткостью. Однако, и эта мера не всегда приносит пользу, так как передача больших продольных усилий через заделки, прикрепляющие продольные балки к поперечным, зачастую весьма затруднительна.

Приводимый ниже пример поясняет сказанное.



Фиг. 4.

Рассматривается то же самое 128-метровое пролетное строение, как и в помещенном ранее примере.

Предполагаем опорные поперечные балки имеющими двустенчатое сечение, изображенное на фиг. 4.

Момент инерции относительно оси  $J J$ :

$$J_0 = 850464 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления относительно той же оси:

$$W_y = \frac{850464}{28,6} = 29800 \text{ см}^3.$$

Все данные для вычисления усилий в продольных балках остаются без изменения, за исключением:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha} = \frac{13138}{850464} = 0,015448$$

и, соответственно:

$$A_1 = 1 + 0,015448 + 0,00194 + 0,00311 = 1,02050.$$

Коэффициенты  $N_k$  сохраняют прежние значения (см. таблицу II).

Новые величины коэффициентов  $A_k$  дает таблица IV.

ТАБЛИЦА IV.

| K | $A_{k-1}$ | $C_k = C_{k-1} A_{k-1} - C_{k-2}$ | K  | $A_{k-1}$ | $C_k$   |
|---|-----------|-----------------------------------|----|-----------|---------|
| 1 | —         | 1                                 | 6  | 2,00405   | 1,14929 |
| 2 | 1,02050   | 1,02050                           | 7  | 2,00405   | 1,19277 |
| 3 | 2,00505   | 1,04615                           | 8  | 2,00389   | 1,24089 |
| 4 | 2,00410   | 1,07609                           | 9  | 2,00389   | 1,29384 |
| 5 | 2,00410   | 1,11044                           | 10 | 2,00389   | 1,35182 |

Ур-ие (4) принимает следующий вид:

$$(1,35182 P_1 - 37620,61) 1,00389 = 1,29384 P_1 - 29676,16 + 876$$

откуда

$$P_1 = 141792 \text{ кг.}$$

В других панелях:

$$P_{10} = 1,35182 \times 141792 - 37620,6 = 154057 \text{ кг}$$

$$P_2 = 1,02050 \times 141792 - 680 = 144019 \text{ кг.}$$

Дополнительное напряжение в продольных балках:

$$n_{10} = \frac{154057}{268,52} = 575 \text{ кг/см}^2.$$

Дополнительные напряжения в поперечных балках:

$$\text{в опорной: } \sigma_0 = \frac{141792 \times 240}{29737} = 1143 \text{ кг/см}^2$$

в балке между 1 и 2 панелями:

$$\sigma_1 = \frac{(144019 - 141792) \times 240}{1078} = 496 \text{ кг/см}^2$$

Принимая во внимание, что усиленная опорная поперечная балка имеет основные напряжения не свыше  $200 - 300 \text{ кг/см}^2$ , полученные величины дополнительных напряжений можно считать приемлемыми. Затруднение — в передаче силы в  $150 \text{ т}$  через соединение продольной балки с поперечной. Выясняется настоятельная необходимость разделения рассматриваемой проезжей части на отдельные участки с продольно-подвижным соединением между ними; устройство тормозных рам, в данном случае, на опорах отнюдь нельзя рекомендовать.

Предположение  $\alpha_0 = 0$  (опорная тормозная рама большой жесткости) привело бы путем аналогичных подсчетов к выводу, что в продольных балках усилия от деформации поясов достигают величины:

$$P_{10} = 202692 \text{ кг.}$$

Следует заметить, что в приведенном примере учтены деформации поясов как от временной, так и от постоянной нагрузки. Приклепывание продольных балок к поперечным, хотя бы в некоторых местах, после опускания ферм на опоры, может исключить или ослабить влияние постоянной нагрузки и уменьшить вычисленные выше величины дополнительных напряжений.

Изложенный метод определения дополнительных напряжений в балках проезжей части можно применить также и в том случае, когда на опорах находятся тормозные рамы. Достаточно вместо  $\alpha_0$  подставить умноженный на модуль упругости прогиб тормозной рамы от растягивающих сил в продольных балках, равных единице; все остальные действия остаются без изменений.

Применение изложенного метода к пролетным строениям под два пути не встречает никаких принципиальных препятствий; только ур-ия становятся несколько более сложными. К сожалению, за недостатком места, этот случай не может быть приведен.

В заключение автор считает необходимым отметить желательность опытных исследований затронутого вопроса, так как некоторые, влияющие на результат вычислений, обстоятельства, например, деформации в месте соединения продольных балок с поперечными, могут быть установлены только опытом. Некоторые исследования работы проезжей части металлических мостов произведены Ленинградским именов *Н. А. Белелюбского* Мостоиспытательным Бюро Н. Т. К. и по окончании обработки будут опубликованы. Желательно дальнейшее накопление материала и, кроме того, лабораторные исследования деформаций в заклепочных соединениях того типа, который применяется в проезжей части (в том числе и соединения с работой заклепок на отрыв головок).

*Г. К. Евграфов.*

Проф. Н. М. Беляев

К ВОПРОСУ  
ОБ ИЗУЧЕНИИ  
ЯВЛЕНИЙ УСТАЛОСТИ



## К вопросу об изучении явлений усталости.

1. Проверка элементов конструкции на прочность всегда составляла главную работу инженера при расчете сооружений. Как известно, эта проверка производится путем сравнения наших расчетных напряжений с допускаемыми, полученными делением на коэффициент безопасности (обычно переменный) предела текучести или временного сопротивления материала.

Однако, давно уже известно, что эта проверка в некоторых случаях все же не обеспечивает безопасности работы сооружения.

Эти случаи можно разбить на две группы: первая — это случаи нарушения устойчивости формы элементов, вторая — случаи повреждений, вызываемых так называемой „усталостью“ материала.

Наличие первой категории случаев вызвало появление дополнительной проверки элементов конструкции, — на устойчивость. Необходимость этой проверки в настоящее время ни в ком сомнений не возбуждает, — случаев катастроф от нарушения устойчивости мы имеем недостаточное количество.

Повреждения, связанные с усталостью материала, известны давно, — примерно, с 40-х годов XIX столетия. Эти повреждения наблюдались при многократном воздействии на данный элемент переменных усилий; характерным являлось то обстоятельство, что повреждения появлялись при основных расчетных напряжениях, не превосходящих допускаемых (на прочность), и не сопровождалась даже при вязких материалах (сталь) заметными остаточными деформациями.

В первое время эти явления были отмечены лишь в стали, но теперь установлено, что „уставать“ могут почти все применяемые в технике материалы.

Известны опыты над усталостью железобетонных балок; исследования каменной кладки на сжатие (Ленинградское Бюро НТБ и Механическая Лаборатория ЛПИИ С'а) показали наличие значительных петель гистерезиса при повторных сжатиях образца, что указывает на возможность явления усталости и здесь.

Можно думать, что часто наблюдаемые трещины в каменных опорах мостов, даже расположенных на кессонах (Ярославский мост), являются следствием переменного воздействия подвижной нагрузки.

Исследования, производившиеся в половине XIX века, обнаружили, что под действием переменных продольных усилий образцы разрушаются при напряжениях, меньших временного сопротивления, определенного обычным образом, и это понижение зависит от амплитуды колебания усилий и от соотношения знаков и величин крайних значений этих усилий.

На основании данных опытов и были сделаны попытки учесть явление усталости при проектировании путем понижения основного допускаемого напряжения при проверке на прочность, в соответствии с понижающимся, как бы, при переменных усилиях временным сопротивлением (формула Вейрауха и подобные).

При таком воззрении наиболее подверженными усталости являлись, в мостах, например,—сжато-вытянутые элементы.

Между тем случаев повреждения именно этих элементов в мостах почти неизвестно. Отчасти этим объясняются заграничные воззрения, что в мостах нельзя отметить явлений усталости металла.

За последнее время был поставлен ряд новых исследований по усталости.

С 1920 по 1925 год в Америке были произведены громадные опыты проф. Моого'ом в Иллинойсе.<sup>1</sup> Эти опыты отчетливо обнаружили существование „предела усталости“, т.-е. такого напряжения, ниже которого материал можно подвергать без опасности разрушения практически неограниченному числу перемен усилий. Пока действительные напряжения не превосходят предела усталости, до тех пор разрушение от действия переменных нагрузок практически невозможно.

При работе же элемента при напряжениях, превосходящих этот предел, хотя бы на протяжении небольшого объема материала,—повреждения обнаруживаются с течением времени, и, раз появившись, развиваются весьма быстро.

Этот предел отличен и от предела упругости и от предела текучести.

Так как основные расчетные напряжения, при которых работают элементы наших конструкций, обычно ниже предела усталости, то опасность несут с собой лишь местные напряжения, обычно значительно превосходящие основные.

Таким образом, можно считать, что в мостах не находили явлений усталости просто потому, что искали их не там, где нужно; сжато-вытянутый стержень, не имеющий местных напряжений, превосходящих предел усталости,—находится в этом отношении в лучших условиях, быть может в полной безопасности, чем элементы, подвергающиеся переменным нагрузкам одного знака, но со значительными местными напряжениями.

Какие же практические задачи вытекают из этих исследований?

<sup>1</sup> University of Illinois Bulletin № 124, 136, 142, 152.

Таких задач можно наметить три.

Поскольку опасность лежит в местных напряжениях,—необходимо при подборе материала и при конструировании принимать все меры к понижению этих напряжений. Всякая неоднородность материала, включение примесей, может явиться причиной развития местных перенапряжений. Резкие изменения формы, повреждения поверхности действуют в том же направлении.

По опытам Мооге<sup>1</sup> царапина иглой по поверхности образца понижала предел усталости на 20—30%. Идея академика А. С. Иоффе о возможности уничтожения этих повреждений поверхности путем растворения,—протравливания (опыты с каменной солью),—подхвачены немцами,<sup>2</sup> предложившими протравливать готовые изделия кислотами, для скругления шероховатостей поверхности, что должно понизить местные напряжения.

Помимо этой конструктивной задачи мы имеем еще вторую и третью задачи, относящиеся собственно к изучению явлений усталости.

Вторая состоит в нахождении предела усталости для разных материалов, при разных способах действия нагрузок,—необходимость таких опытов понятна.

Наконец, третья задача может быть поставлена, как отыскание способа распознавать признаки усталости материала, пока еще не получились явные повреждения в виде трещин.

Эта задача особенно важна для мостовой практики, и она очень часто возникает при решении вопроса о продолжении службы старых мостов. В этих случаях необходимо выяснить, — устал ли материал данного моста,—близок ли он к тому, чтобы начались повреждения, или нет.

Как уже указано выше, иностранные инженеры, а также некоторые из русских (статья проф. Н. А. Белепобского об испытании железа Киевского пешего моста) держались того мнения, что в мостах не наблюдается явлений усталости материала. Однако, значительная группа русских инженеров всегда высказывала противоположное мнение, подтверждавшееся и некоторыми экспериментами (опыты проф. Симянского). Только самое последнее время под влиянием русских работ в немецкой литературе высказываются подтверждения теории существования явлений усталости в материалах мостов.<sup>3</sup>

Указанное разногласие отпадает, если будет решена поставленная выше задача — нахождение признаков, характеризующих усталость материала.

Для установления этих признаков придется обратиться к теориям развития повреждений при усталости и к опытным данным.

<sup>1</sup> Stahl und Eisen, 1925, Heft 38, Herman Kändler.

<sup>2</sup> Prof. Schacchlerle, Verstärkung von Eisenbahnbrücken.

2. Первоначальные взгляды на сущность развития явлений усталости связывались с характером повреждений в этих случаях; высказывалось мнение, что под действием переменных усилий материал перекристаллизовывается так, что делается хрупким. Микроскопические исследования решительно опровергли это мнение, и здесь мы упоминаем о нем лишь потому, что в широких инженерных кругах оно еще не вполне изжито.

В дальнейшем стали связывать наличие явлений усталости с наблюдавшимися сдвигами в кристаллах металла, подверженного действию переменных усилий. Считалось, что наличие этих сдвигов при микроскопическом исследовании указывает на начавшееся развитие явлений усталости; сдвиги по плоскостям спайности кристаллов дробят их все на большее число частей и в конце концов приводят к образованию микроскопической трещины, которая, в свою очередь, резко увеличивает местные напряжения, ускоряя таким образом процесс разрушения.

Однако, сдвиги в кристаллах являются причиной пластических, остаточных деформаций материала, — явления текучести, каковых при повреждениях от усталости как раз не наблюдается. С другой стороны установлено, что подобные сдвиги можно наблюдать под микроскопом и в материале, заведомо неработавшем, как следствие холодной обработки материала, так называемого „наклепа“. Наконец, новейшие взгляды на прочность материала<sup>4</sup> утверждают, что разрушение связано с растягивающими напряжениями — деформацией растяжения, между тем, как с деформацией сдвига связано явление пластических деформаций — текучесть. Разрушение (разрыв) идет, следуя плоскостям, по которым действуют наибольшие растягивающие, а не наибольшие скалывающие напряжения. Процесс разрушения при усталости оказывается не связанным непосредственно с деформациями, выражающимися в появлении линий сдвигов в кристаллах. Таким образом, наличие этих линий еще не характеризует усталости: наблюдая их под микроскопом нельзя утверждать, что металл устал.

3. Новейшие исследования<sup>5</sup> показывают, что сущность развития явлений усталости заключается в образовании при переменных нагрузках в местах, напряженных за предел усталости, микроскопических трещин, надрывов. С появлением их появляются новые местные напряжения у краев трещин, оказываются перенапряженными за предел усталости новые элементы материала, и процесс развивается быстро; микроскопические трещины, пронизывающие толщину металла сливаются вместе и дают начало сквозной трещине, постепенно прорезающей поперечное сечение элемента и приводящей к разрушению.

<sup>4</sup> Sachs-Fiek, Der Zugversuch.

Scathwell and Gough, Philosophical Magazine, 1926, 1.

<sup>5</sup> Moore, University of Illinois Bulletin, Southwell, Phil. Mag. 1926, 1.

Haigh, Proceedings of the first International Congress for applied Mechanics, 1924.

Появление областей материала, перенапряженных за предел усталости, связано, как уже указано выше, обычно с местными напряжениями. Последние вызываются действием сил, резкими изменениями формы сечения, включениями шлаков и посторонних примесей, и, по всей вероятности, неравномерностью в кристаллической структуре.

Относительно процесса, приводящего к появлению в перенапряженном месте первой трещины, часть исследователей (Southwell) не высказывается до опытов с переменными нагрузками над отдельными кристаллами большого размера (однокристаллические проволоки); другие ученые (Haigh), исходя из гипотезы Beilby о существовании на поверхности кристаллов и шлаковых включений материала в аморфном состоянии, связывают процесс появления первой трещины с явлением упругого гистерезиса.

Haigh указывает, что при переменных усилиях, спустя некоторое время устанавливается постоянная петля гистерезиса, держащаяся все время, опыта и не связанная с появлением остаточных пластических деформаций или сдвигов в кристаллах.

Из опытов над усталостью Haigh делает вывод, что явление усталости и связано с этим превращением работы в теплоту без появления остаточных деформаций в виде сдвигов в кристаллах. По его мнению, при этом процессе молекулы в местах соприкосновения аморфного и кристаллического вещества при переменных нагрузках как бы „колеблются“, переходя из одного из этих состояний в другое и обратно. При напряжениях ниже предела усталости эти „колебания“ оказываются обратимыми, захватывают небольшой объем материала, при больших напряжениях захватываются большие зоны, и материал не успевает вернуться в прежнее состояние; образуются, по выражению Haigh'я „пустоты“, сливающиеся в первую трещину усталости.

С точки зрения изложенных воззрений признаками уставшего материала может являться наличие микроскопических трещин, надрывов, а с другой стороны, как следствие их,—понижение обычных механических свойств материала,—временного сопротивления и относительного удлинения при разрыве.

В этом отношении представляет некоторый интерес исследование явлений разрушения в материале моста через р. *Волхов* Октябрьской ж. д., произведенное в механической лаборатории Ленинградского Института Инженеров Путей Сообщения в 1925 г.

4. В 1923 году в поясных уголках продольных балок моста через р. *Волхов* были обнаружены трещины, идущие по длине уголков в их горизонтальных полках. Поперечное сечение балок показано на фиг. 1.

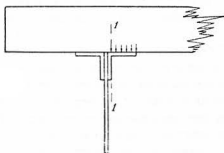
Трещины появились как во внутренних, так и в наружных уголках, и количество их стало возрастать очень быстро. Горизонтальные полки поясных уголков представляют



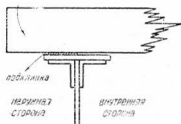
Фиг. 1.

как раз тот элемент конструкции проезжей части, который подвергается значительным местным напряжениям от сосредоточенных сил, передаваемых поперечинами. Даже при безукоризненной укладке поперечин, они при прогибе нажимают на горизонтальные полки внутренних уголков и вызывают в них местные напряжения изгиба (фиг. 2).

Ряд повреждений подобного типа указан в работе пнж. О. Вауер,<sup>6</sup> а также в упомянутой книге проф. Schaechterle. По подсчетам немецких инженеров, местные напряжения в горизонтальной полке уголка по сечению 1—1, совпадающему с внутренней гранью вертикальной полки, весьма значительны и могут (с некоторым преувеличением) доходить до  $3.000 \text{ кг/см}^2$ . Эти напряжения изменяются при проходе паровоза от 0 до указанной величины, являясь таким образом переменными. В отмеченных местах и наблюдались трещины в балках Волховского моста. Повреждения в полках наружных уголков объ-



Фиг. 2.



Фиг. 3.

ясняются тем, что при подгибающих поперечинах часто производят подклинку их на балке. Обычно эту подклинку делают лишь с той стороны, откуда удобнее подойти, т.-е. снаружи. Таким образом поперечина опирается все время на наружную сторону пояса балки, и при давлении оси паровоза на поперечину, последняя отгибает наружный уголок балки или, при наличии в поясе горизонтального листа, вызывает кручение внаружу всего пояса балки; в этом случае изгибаются полки обоих уголков. Подобная деформация наблюдалась Ленинградской Мостопыкательной Станцией на одном из мостов, где угол поворота верхнего пояса балки внаружу достигал  $1/2^\circ$  (фиг. 3).

Таким образом, со стороны воздействия внешних сил условия, благоприятствующие развитию явлений усталости, были налицо, — значительные переменные местные напряжения.

Надлежит отметить, что повреждения появились именно под мостовыми брусьями.

Материал балок тоже представлял для этого удобную почву. Он был исследован химически и металлографически в химической лаборатории ЛИИПС'а и представлял из себя сварочное железо со значительными шлаковыми включениями и большой примесью фосфора —

\* Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1925, Heft 6.

около  $0,4^{\circ}/_{0}$ . Последнее обстоятельство влекло за собой неоднородность структуры — развитие крупных кристаллов наряду с мелкими, что и было обнаружено при микроскопическом исследовании. II неоднородность структуры, и шлаковые включения могли в свою очередь повышать местные напряжения, и под микроскопом были обнаружены в некоторых образцах *трещины*, развившиеся именно по включениям шлаков.

Механические испытания в механической лаборатории ЛИИПС:а дали совершенно отчетливую картину различия механических качеств в пострадавшем и не пострадавшем металле.

5. Доставленные в лабораторию образцы железа Волховского моста можно разделить на две основных группы (I и II); в первую входят элементы, почти не работавшие, — уголки жесткости продольных и поперечных балок, фасонка ветровых связей.

Во вторую группу должны быть включены элементы, принимавшие в большей или меньшей степени участие в работе моста, как-то: поясные уголки продольных балок, стыковые накладки вертикальных листов продольных балок, горизонтальные накладки в верхнем поясе поперечных балок, вырезки из раскосов ферм моста.

В таблице I приведены данные механических испытаний на *разрыв* и *тягу* для образцов всех перечисленных категорий.

Рассматривая результаты испытаний, можно сейчас же отметить резкую разницу между образцами слабо-работавшими (№№ 2, 3, 10, 11) и остальными.

Для первой группы среднее временное сопротивление (вдоль прокатки) составляет  $R = 36,8 \text{ кг/мм}^2$  (колебания 33,7 — 39,9) при относительном удлинении  $i = 15,5^{\circ}/_{0}$  (колебания 13,5 — 18,2).

Таким образом, этот материал удовлетворяет нормальным техническим условиям на сварочное железо.

Результаты испытания образцов II группы показывают, что для них наблюдаются *понижения*, по сравнению с I группой значения временного сопротивления и относительного удлинения. Это понижение сказывается резко всего на поясных уголках продольных балок. Образец из выломавшейся части дал вдоль прокатки  $R = 23,2 \text{ кг/мм}^2$  и  $i = 3,4^{\circ}/_{0}$ ! Три остальных образца этой же категории дали в среднем  $R = 31,1 \text{ кг/мм}^2$  (колебания 30,1 — 33,0) и  $i = 9,1^{\circ}/_{0}$  (колебания 6,6 — 11,6), — понижение отчетливо.

Стыковые накладки в продольных и поперечных балках тоже дали материал пониженного качества, при чем это понижение выражено в одних образцах более, в других менее резко. Наиболее сильно оно сказывается в образцах:

|         |                            |                                    |                   |
|---------|----------------------------|------------------------------------|-------------------|
| № 1 bis | — $R = 30,1$ (28,6 — 31,2) | $i = 8,1^{\circ}/_{0}$ (3,6 — 8,2) | } Вдоль прокатки. |
| № 3     | — $R = 29,7$ (29,0 — 30,4) | $i = 6,3^{\circ}/_{0}$ (5,0 — 7,7) |                   |
| № 13    | — $R = 35,4$ (35,0 — 35,8) | $i = 8,7^{\circ}/_{0}$ (8,4 — 8,9) |                   |
| № 15    | — $R = 34,5$ (33,3 — 35,8) | $i = 3,1^{\circ}/_{0}$ (2,4 — 3,8) |                   |

ТАБЛИЦА I.

| №№ элементов<br>в доставке | Наименование<br>испытанных<br>элементов                                         | Испытание на разрыв              |              |                 |                     |                                     |                              | Испытание<br>на гнутье |                           |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------|-----------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|
|                            |                                                                                 | Вдоль или<br>поперек<br>прокатки | №№ обр.      | Толщина<br>в мм | Расч. длина<br>в мм | Врем. сопр.<br>в кг/мм <sup>2</sup> | Относит.<br>удлинение<br>в % | Толщина<br>в мм        | Угол загиба<br>в градусах |
| 2                          | Фасонка ветровых<br>связей . . . . .                                            | вдоль                            | 7.806        | 9,5             | 190                 | 38,2                                | 17,2                         | —                      | —                         |
| 3                          | Уголок жесткости<br>продольной бал-<br>ки . . . . .                             | вдоль                            | 7.807        | 9,0             | 170                 | 39,9                                | 14,4                         | —                      | —                         |
| 10                         | Уголок жесткости<br>поперечной бал-<br>ки . . . . .                             | вдоль                            | 7.841        | 9,8             | 190                 | 33,7                                | 18,2                         | 9,8                    | 97                        |
| 11                         | То же . . . . .                                                                 | вдоль                            | 7.842        | 9,8             | 190                 | 35,4                                | 13,5                         | 9,8                    | 56                        |
| 4                          | Уголок верхнего<br>пояса продольн.<br>балки (выломав-<br>шаяся часть) . . . . . | вдоль                            | 7.807<br>bis | 8,3             | 150                 | 23,2                                | 3,4                          | —                      | —                         |
| 5                          | То же . . . . .                                                                 | вдоль                            | 7.808        | 10,4            | 180                 | 30,1                                | 9,0                          | —                      | —                         |
| 7                          | То же . . . . .                                                                 | вдоль                            | 7.839        | 9,8             | 190                 | 33,0                                | 6,6                          | 9,8                    | 26                        |
| 9                          | То же . . . . .                                                                 | вдоль                            | 7.840        | 9,8             | 190                 | 30,3                                | 11,6                         | 9,8                    | 44                        |
| 1                          | Стыковая накладка<br>вертикального ли-<br>ста продольной<br>балки . . . . .     | вдоль                            | 7.795        | 7,0             | 140                 | 31,0                                | 13,4                         | 7,0                    | 109                       |
|                            | То же . . . . .                                                                 | вдоль                            | 7.796        | 7,0             | 140                 | 32,0                                | 10,5                         | —                      | —                         |
|                            | То же . . . . .                                                                 | вдоль                            | 7.797        | 7,0             | 140                 | 26,8                                | 12,0                         | —                      | —                         |
|                            | То же . . . . .                                                                 | поперек                          | 7.798        | 7,0             | 160                 | 21,7                                | 0                            | 7,0                    | 37                        |
|                            | То же . . . . .                                                                 | поперек                          | 7.799        | 7,0             | 160                 | 27,6                                | 2,5                          | —                      | —                         |
|                            | То же . . . . .                                                                 | поперек                          | 7.800        | 7,0             | 160                 | 30,0                                | 1,1                          | —                      | —                         |

| №№ элементов в доставке | Наименование испытанных элементов                                | Испытание на разрыв        |         |              |                  |                                  |                        | Испытание на гнутье |                        |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------|--------------|------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
|                         |                                                                  | Вдоль или поперек прокатки | №№ обр. | Толщина в мм | Расч. длина в мм | Врем. сопр. в кг/мм <sup>2</sup> | Относит. удлинение в % | Толщина в мм        | Угол загиба в градусах |
| 1 bis                   | Стыковая накладка вертикального листа продольной балки . . . . . | вдоль                      | 7.801   | 7,0          | 160              | 29,5                             | 4,3                    | 7,0                 | 93                     |
|                         | То же . . . . .                                                  | вдоль                      | 7.802   | 7,0          | 160              | 31,0                             | 8,1                    | —                   | —                      |
|                         | То же . . . . .                                                  | вдоль                      | 7.803   | 7,0          | 160              | 28,6                             | 3,6                    | —                   | —                      |
|                         | То же . . . . .                                                  | вдоль                      | 7.804   | 7,0          | 160              | 31,2                             | 8,2                    | —                   | —                      |
|                         | То же . . . . .                                                  | поперек                    | 7.805   | 7,0          | 160              | 31,9                             | 3,8                    | 7,0                 | 50                     |
| 6                       | Стыковая накладка вертикального листа продольной балки . . . . . | вдоль                      | 7.833   | 5,0          | 140              | 30,4                             | 5,7                    | 5,0                 | 45                     |
|                         | То же . . . . .                                                  | вдоль                      | 7.834   | 5,0          | 140              | 30,0                             | 11,1                   | —                   | —                      |
|                         | То же . . . . .                                                  | поперек                    | 7.831   | 5,0          | 120              | 31,3                             | 0                      | 5,0                 | 21                     |
|                         | То же . . . . .                                                  | поперек                    | 7.832   | 5,0          | 120              | 25,4                             | —                      | —                   | —                      |
| 8                       | Стыковая накладка вертикального листа продольной балки . . . . . | вдоль                      | 7.835   | 7,0          | 150              | 29,0                             | 7,7                    | 7,0                 | 96                     |
|                         | То же . . . . .                                                  | вдоль                      | 7.836   | 7,0          | 150              | 30,4                             | 5,0                    | —                   | —                      |
|                         | То же . . . . .                                                  | поперек                    | 7.837   | 7,0          | 160              | 22,7                             | 6,5                    | 7,0                 | 33                     |
|                         | То же . . . . .                                                  | поперек                    | 7.838   | 7,0          | 160              | 27,3                             | 2,1                    | —                   | —                      |
| 12                      | Накладка верхнего пояса поперечн. балки . . . . .                | вдоль                      | 7.843   | 9,2          | 190              | 33,7                             | —                      | 9,2                 | 67                     |
|                         | То же . . . . .                                                  | вдоль                      | 7.844   | 9,2          | 190              | 33,2                             | 13,5                   | —                   | —                      |
|                         | То же . . . . .                                                  | поперек                    | 7.845   | 9,2          | 170              | 26,4                             | 0,8                    | 9,2                 | 16                     |
|                         | То же . . . . .                                                  | поперек                    | 7.846   | 9,2          | 170              | 25,6                             | 0,1                    | —                   | —                      |

| №№ элементов<br>в доставке | Наименование<br>испытанных<br>элементов                                     | Испытание на разрыв              |         |                 |                     |                                     | Испытание<br>на гнутье       |                 |                           |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|-----------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------|
|                            |                                                                             | Вдоль или<br>поперек<br>прокатки | №№ обр. | Толщина<br>в мм | Расч. длина<br>в мм | Проч. сопр.<br>в кг/мм <sup>2</sup> | Относит.<br>удлинение<br>в % | Толщина<br>в мм | Угол загиба<br>в градусах |
| 13                         | Накладка верхнего<br>пояса поперечи.<br>балки . . . . .                     | вдоль                            | 7.847   | 10,0            | 200                 | 35,8                                | 8,9                          | 10,0            | 55                        |
|                            | То же . . . . .                                                             | вдоль                            | 7.848   | 10,0            | 200                 | 35,0                                | 8,4                          | —               | —                         |
|                            | То же . . . . .                                                             | поперек                          | 7.849   | 10,0            | 180                 | 27,0                                | 2,2                          | 10,0            | 34                        |
|                            | То же . . . . .                                                             | поперек                          | 7.850   | 10,0            | 180                 | 27,4                                | 1,2                          | —               | —                         |
| 14                         | Накладка верхнего<br>пояса поперечи.<br>балки . . . . .                     | вдоль                            | 7.851   | 8,8             | 180                 | 33,0                                | 12,2                         | 8,8             | 65                        |
|                            | То же . . . . .                                                             | вдоль                            | 7.852   | 8,8             | 180                 | 34,8                                | 11,8                         | —               | —                         |
|                            | То же . . . . .                                                             | поперек                          | 7.853   | 8,8             | 160                 | 29,7                                | —                            | 8,8             | 21                        |
|                            | То же . . . . .                                                             | поперек                          | 7.854   | 8,8             | 160                 | 25,6                                | 0                            | —               | —                         |
| 15                         | Накладка верхнего<br>пояса поперечи.<br>балки . . . . .                     | вдоль                            | 7.855   | 9,6             | 190                 | 35,8                                | 3,8                          | 9,6             | 54                        |
|                            | То же . . . . .                                                             | вдоль                            | 7.856   | 9,6             | 190                 | 33,3                                | 2,4                          | —               | —                         |
|                            | То же . . . . .                                                             | поперек                          | 7.857   | 9,6             | 170                 | 30,4                                | 0,8                          | 9,6             | 18                        |
|                            | То же . . . . .                                                             | поперек                          | 7.858   | 9,6             | 170                 | 32,1                                | 0,4                          | —               | —                         |
| 16                         | Плоский концевой<br>раскос 3-го про-<br>лета. Правая<br>ферма . . . . .     | вдоль                            | 2.123   | 15,2            | 190                 | 30,1                                | 11,0                         | —               | —                         |
| 17                         | То же.—Левая фер-<br>ма . . . . .                                           | вдоль                            | 2.124   | 15,6            | 190                 | 32,1                                | 9,3                          | —               | —                         |
| 18                         | Плоский 2-й от<br>конца раскос<br>5-го пролета. Пра-<br>вая ферма . . . . . | вдоль                            | 2.125   | 15,6            | 200                 | 32,1                                | 13,1                         | —               | —                         |
| 19                         | То же.—Левая фер-<br>ма . . . . .                                           | вдоль                            | 2.126   | 15,6            | 200                 | 33,4                                | 14,0                         | —               | —                         |

В образцах, вырезанных из расколов главных ферм, понижение механических свойств по сравнению с I группой не так значительно, особенно в отношении удлинения:

$$R = 31,9 \text{ кг/мм}^2 (30,1—33,4) \quad \epsilon = 11,9\%$$

удлинение почти в норме (12%), а  $R$ —ниже норм лишь на 2,1 кг/мм<sup>2</sup>.

Приведенные результаты достаточно отчетливо показывают понижение механических качеств металла в уставших элементах. Наибольшее понижение как раз отмечается для тех частей, в которых явление усталости дошло до появления трещин и выкалывания—поясные уголки продольных балок.

Чем меньше элемент подвергался действию местных напряжений и переменной нагрузки, тем меньше он устал, — тем меньше пострадал его основные механические свойства.

С другой стороны, результаты металлографического исследования почти не обнаружили разницы в структуре материала образцов I и II группы. Линии сдвигов в кристаллах наблюдались и тут и там, хотя не во всех элементах. В одном из пострадавших поясных уголков обнаружена была микроскопическая трещина по шлаковому включению.

Это обстоятельство подтверждает, что пластические деформации, — сдвиги в кристаллах, не характеризуют еще уставший металл. В связи с этим стоит и тот результат, что отношение предела текучести к временному сопротивлению в образцах обеих групп примерно одинаково.

Таким образом, в опровержение прежде существовавшего мнения, одним из признаков „классически“ уставшего материала следует считать понижение временного сопротивления и относительного удлинения при обычных опытах на разрыв.

6. Вторым признаком уставшего металла может также служить понижение предела усталости по сравнению с неработавшим материалом. Это явление отмечено в опытах проф. Симинского со старым мостовым железом.<sup>7</sup> Им было найдено понижение предела усталости для сильно работавшего железа примерно на 30%. С точки зрения вложенных выше представлений о природе явлений классической усталости это понижение вполне понятно. Начавшиеся повреждения, надрывы, как бы портят материал, — понижают то напряжение, при котором можно долго безнаказанно подвергать его переменным усилиям. Имеются и прямые опыты проф. Мооге'a,<sup>8</sup> показавшие, что для материала, подвергшегося напряжениям за предел усталости, наблюдалось затем понижение величины этого предела, тоже примерно

<sup>7</sup> Симинский. К вопросу об усталости сварочного железа. Труды XXXIII Съезда Службы Пути.

<sup>8</sup> Bulletin № 121. University of Illinois.

процентов на 10—30, в зависимости от длительности действия этих перенапряжений.

Поэтому нельзя согласиться с мнением проф. Н. С. Стрелецкого,<sup>9</sup> который, оценивая опыты проф. Симинского и результаты наших исследований материала Волховского моста, говорит, что эти факты ничего не говорят о классической усталости в материале мостов. Они подтверждают как раз обратное. Объяснить их, как делает проф. Стрелецкий, влиянием наклепа — нельзя. Повышение предела упругости при местных перенапряжениях за предел текучести, по мнению проф. Стрелецкого, с одной стороны, парализует развитие явлений усталости, — с другой, — следуя гипотезе проф. Завриева, дает возможность развитию местных повреждений.

Первое утверждение было бы справедливо, если бы при наклепе повышался вместе с пределом упругости и предел усталости. Опыты проф. Moore'a и его сотрудников<sup>10</sup> установили, что он, наоборот, несколько понижается.

Развитие местных повреждений, как следствия наклепа, — тоже маловероятно. При переходе местных напряжений за предел текучести, они не достигают расчетной (по теории упругости) величины, благодаря наступающим остаточным деформациям. При разгрузке, благодаря этой деформации, местные напряжения не возвращаются к нулю, а достигают некоторой величины, обратной по знаку напряжениям, вызвавшим деформацию. При повторной нагрузке материал работает с повышенным пределом упругости, но напряжения все-таки не превышают величины, бывшей при первом нагружении, — благодаря наличию указанных начальных напряжений обратного знака. Таким образом, схема проф. Завриева — повышение местных напряжений при повторных нагрузках вплоть до временного сопротивления, — как следствие повышения предела упругости при наклепе, — весьма маловероятна.

Создающиеся в областях местных напряжений условия, наоборот, как раз благоприятствуют развитию классической усталости, — равнозначные напряжения при пониженном пределе усталости.

Даже если считать, что указанные выше напряжения обратного знака при отдыхе „рассосутся“, — при повторной нагрузке, остаточной деформацией просто будет захвачен новый большой объем материала.

Таким образом, понижение и механических свойств и предела усталости, — являются признаками, характеризующими явления „классической“ усталости в старом мостовом материале.

Не нужно только забывать, что это явление не просто связано с знакопеременными основными усилиями в стержнях, — необходима фактическая работа материала за пределом усталости, — главным образом за счет местных напряжений.

<sup>9</sup> Пятый сборник бюро инж. исследований, стр. 160—161.

<sup>10</sup> University of Illinois Bulletin. № 136, 142.

Это обстоятельство необходимо учесть при пересмотре норм для напряжений; придется отказаться от принципа формулы Вейрауха,— понижения допускаемых напряжений в отношении, более или менее соответствующем кажущемуся понижению временного сопротивления при переменных нагрузках.

Элементы, подвергающиеся меньшим переменам усилий, при больших местных перенапряжениях должны получать меньшее допускаемое напряжение, чем элементы с знакопеременными усилиями, но свободные в значительной степени от местных и дополнительных напряжений.

7. Как видно из вышесказанного, предел усталости в настоящее время является очень важной величиной. С одной стороны, он характеризует, так сказать, степень изношенности материала, с другой стороны, он имеет крупное значение и при выборе нового материала.

Понятно, что для частей, работающих в условиях, вызывающих явления усталости, более подойдет материал, имеющий более высокий предел усталости. Для свежего материала эта величина зависит прежде всего от характера действия нагрузок (осевые нагрузки, изгиб, кручение, изменение нагрузки с переменной знака или без нее), а также от химического состава, термической и механической обработки. Из механических качеств предел усталости ближе всего связан, по-видимому, с временным сопротивлением и твердостью по Бринелю (опыты Мооге'a).

Таким образом, нахождение предела усталости является весьма важной практической задачей. Способов нахождения предела усталости несколько.

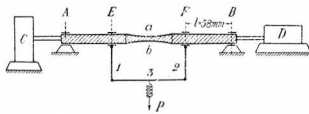
Основным является способ непосредственного определения предела усталости, который будет описан ниже.

Прочие способы (термический, по величине деформации и другие) хотя быстрее ведут к цели, но являются менее точными и надежными.

Наиболее простым и выполнимым с точки зрения эксперимента является определение предела усталости при изгибе, тем более, что связь этой величины с пределом при осевых или крутящих усилиях более или менее установлена.

Для этого служат машины, типа Wöhler'a или Fatigue'a, которые по идее более или менее повторяют друг друга.

На фиг. 4 показана схема машины американского типа, сконструированной и установленной в 1925—26 г. в механической лаборатории ЛНПС'а.



Фиг. 4.

Образец круглого поперечного сечения вращается при помощи мотора  $C$  со скоростью 1.600 об/мин. в шариковых подшипниках  $A$  и  $B$ , установленных неподвижно. Число оборотов отмечается счетчиком  $D$ .

В точках  $E$  и  $F$ , на образец надеты шариковые подшипники, к которым при помощи стержней 1, 2 и коромысла 3 подвешен на пружине груз  $P$ . Таким образом средняя часть образца испытывает чистый изгиб моментом  $\frac{Pl}{2}$ .

Волокно  $a$  — сжато, волокно  $b$  — растянуто.

При вращении эти волокна постоянно меняются местами и таким образом, попеременно работают на растяжение и сжатие.

Для того, чтобы не получать разрушения под подшипником, образец в середине плавно утоняется по дуге круга. Диаметр бруска в наиболее тонком месте — 7 мм.

Все подшипники — самоустанавливающиеся; соединение концов образца с передачами от мотора и к счетчику сделано абсолютно гибким.

Опыт по определению предела усталости ведется следующим образом. Из данного материала изготавливаются от 5 до 10 пробных брусков.

Первый брусок устанавливается в машине и нагружается грузом  $P_1$  такой величины, чтобы вызываемое им напряжение заведомо превосходило предел усталости. Пускают машину в ход и определяют число оборотов  $N_1$  — необходимое для разрушения. Ставят второй образец, нагружая его меньшим грузом  $P_2$ ; он разрушается при числе циклов  $N_2 > N_1$ . Опыт ведется таким образом до тех пор, пока не доходят до груза, при котором образец совсем не разрушается или разрушается при числе перемен знака  $N_n$ , резко возросшей по сравнению с предыдущими  $N$ . Результаты обычно обрабатываются графически в Декартовых или логарифмических координатах, откладывая по вертикали напряжения, а по горизонтали число циклов  $N$ . При пользовании логарифмическими координатами по данным американских опытов получается ломаная линия из наклонной и горизонтальной ветви, — перелом соответствует пределу усталости.

8. В качестве практического примера приводим результаты опытов для определения предела усталости для двух сортов стали. Эти опыты были сделаны Механической Лабораторией ЛНИПС'а для одного из ленинградских заводов, которому было необходимо выбрать сталь для турбинных валов.

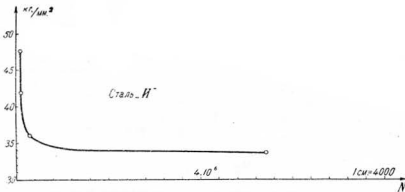
Одна из этих сталей была никелевая, — в дальнейшем обозначена меткой  $H$ , другая высокоуглеродистая — метка  $B$ .

Химический состав и результаты механических испытаний (по данным завода) приведены в таблице II.

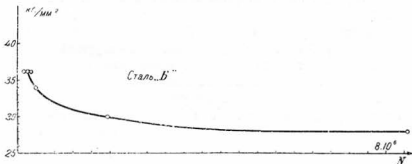
ТАБЛИЦА II.

| Марка стали.       | Химический состав |       | Предел текучести<br>кг/мм <sup>2</sup> | Времени сопротивления<br>кг/мм <sup>2</sup> | Относительн. удлинение при разрыве % | Относительн. сжатие при разрыве % |
|--------------------|-------------------|-------|----------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
|                    | Ni                | C     |                                        |                                             |                                      |                                   |
| Сталь И 4 образца. | 4,5%              | 0,25% | 51,9                                   | 65,0                                        | 11,2                                 | 41,3                              |
|                    |                   |       | 51,2                                   | 63,9                                        | 6,7                                  | 27,9                              |
|                    |                   |       | 53,3                                   | 66,3                                        | 7,7                                  | 17,2                              |
|                    |                   |       | 48,0                                   | 64,5                                        | 11,0                                 | 18,9                              |
| Сталь Б . . . . .  | —                 | 0,42% | 44,3                                   | 66,5                                        | 15,5                                 | 52,4                              |

Для определения предела усталости было испытано 5 образцов стали И и 6 образцов стали Б. Диаметр всех образцов в тонком месте был 7 мм. Результаты испытаний приведены в таблице III и графически представлены на фиг. 5 и 6.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

На основании полученных данных были установлены следующие величины предела усталости:

для стали *И* (вникелевая)—33 кг/мм<sup>2</sup>

„ „ *Б* (высокоуглеродистая)—28 кг/мм<sup>2</sup>

ТАБЛИЦА III.

| Марка стали и образца | Напряжение $p$ кг/мм <sup>2</sup> | Число циклов до разрушения $N$ | Марка стали и образца | Напряжение $p$ кг/мм <sup>2</sup> | Число циклов до разрушения $N$ |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| <i>И</i> 1 . . . . .  | 47,7                              | 88200                          | <i>Б</i> 2 . . . . .  | 36,1                              | 134000                         |
| <i>И</i> 2 . . . . .  | —                                 | —                              | <i>Б</i> 4 . . . . .  | 36,1                              | 210000                         |
| <i>И</i> 3 . . . . .  | 41,9                              | 107000                         | <i>Б</i> 5 . . . . .  | 36,1                              | 308000                         |
| <i>И</i> 4 . . . . .  | 36,1                              | 282000                         | <i>Б</i> 6 . . . . .  | 33,8                              | 389400                         |
| <i>И</i> 5 . . . . .  | 23,8                              | 5410000                        | <i>Б</i> 1 . . . . .  | 30,0                              | 1947000                        |
|                       |                                   |                                | <i>Б</i> 3 . . . . .  | 28,0                              | 8435500                        |

Для сравнения приводим результаты испытания подобных же сталей в Америке проф. Моогом<sup>11</sup> (табл. IV).

ТАБЛИЦА IV.

| Марка стали    | Характеристика      | Предел упругости кг/мм <sup>2</sup> | Предел текучести кг/мм <sup>2</sup> | Времен. сопротив. кг/мм <sup>2</sup> | Относительное удлинение в длине 5 см % | Относительная сжатие % | Предел усталости кг/мм <sup>2</sup> |
|----------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| № 10 . . . . . | 0,49% C сорбит      | 49,2                                | 50,9                                | 70,8                                 | 23,5                                   | 57,8                   | 35,1                                |
| № 7 . . . . .  | 3,5% Ni<br>0,41% C. | 62,5                                | 66,6                                | 81,7                                 | 23,6                                   | 60,2                   | 46,0                                |

### Заключение.

Явления усталости в материале обуславливаются наличием переменных нагрузок, с одной стороны, и высоких местных напряжений— с другой. Сжато-вытянутые элементы с небольшими местными напряжениями находятся в лучших условиях, чем элементы с высокими местными напряжениями, работающими при переменных нагрузках одного знака.

Признаками усталости являются понижение предела усталости, временного сопротивления и относительного удлинения. Наличие линий сдвигов не характерно для явлений усталости.

Предел усталости надежнее всего определять непосредственно опытами на чистый изгиб вращающихся образцов.

Профессор *Н. Беллев.*

<sup>11</sup> University of Illinois Bulletin № 124.

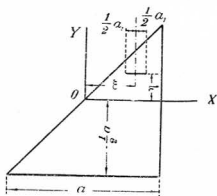
Проф. Б. Г. Галеркин

УПРУГАЯ ПЛАСТИНКА  
В ВИДЕ РАВНОБЕДРЕННОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО ТРЕУГОЛЬНИКА  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ  
СОСРЕДОТОЧЕННОЙ В ТОЧКЕ



## Упругая пластинка в виде равнобедренного прямоугольного треугольника под действием силы, сосредоточенной в точке.

Пластинка свободно оперта по контуру и ограничена прямыми:  $x - y = 0$ ,  $x - \frac{a}{2} = 0$  и  $y + \frac{a}{2} = 0$ . По линии  $y - \eta = 0$  действует распределенная сила  $q = \sum \alpha_n \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a}$  (фиг. 1), где  $q$  — сила на единицу длины, действующая нормально к пластинке. Во всех осталь-



Фиг. 1.

ных точках пластинка свободна от нагрузки. Разделим пластинку на 3 части: 1-ю (треугольную), ограниченную прямыми:  $x - \frac{a}{2} = 0$ ,  $x - y = 0$  и  $y - \eta = 0$ , 2-ю (прямоугольную), ограниченную прямыми:  $y - \eta = 0$ ,  $x - \eta = 0$ ,  $x - \frac{1}{2}a = 0$  и  $y + \frac{1}{2}a = 0$  и 3-ю (треугольную) — прямыми:  $x - y = 0$ ,  $x - \eta = 0$  и  $y + \frac{1}{2}a = 0$ .

Для упругой (серединной) поверхности каждой из указанных частей берем уравнения:

для части первой:

$$\begin{aligned}
 w_1 = & \sum A_n \left( \cos h \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} - \cos h \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \right) + \\
 & + \sum B_n \left( \sin h \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} - \sin h \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \right) + \\
 & + \sum C_n \left( y \sin h \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} - x \sin h \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \right) + \\
 & + \sum D_n \left( y \cos h \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} - x \cos h \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \right) . \quad (a);
 \end{aligned}$$

для части второй:

$$\begin{aligned}
 w_2 = & - \sum \left( A_n \cos h \frac{n\pi x}{a} + B_n \sin h \frac{n\pi x}{a} + C_n x \sin h \frac{n\pi x}{a} + \right. \\
 & + D_n x \cos h \frac{n\pi x}{a} \left. \right) \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} + \sum \left( A_n' \cos h \frac{n\pi y}{a} + B_n' \sin h \frac{n\pi y}{a} + \right. \\
 & \left. + C_n' y \sin h \frac{n\pi y}{a} + D_n' y \cos h \frac{n\pi y}{a} \right) \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} . \quad (b);
 \end{aligned}$$

для части третьей:

$$\begin{aligned}
 w_3 = & \sum A_n' \left( \cos h \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} - \cos h \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \right) + \\
 & + \sum B_n' \left( \sin h \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} - \sin h \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \right) + \\
 & + \sum C_n' \left( y \sin h \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} - x \sin h \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \right) + \\
 & + \sum D_n' \left( y \cos h \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} - x \cos h \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \right) . \quad (c)
 \end{aligned}$$

Эти ур-ния содержат 8 неопределенных коэффициентов, которые могут быть определены из следующих условий:

по линии  $y = \eta = 0$

$$w_1 = w_2, \quad \frac{\partial w_1}{\partial y} = \frac{\partial w_2}{\partial y}, \quad \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 w_2}{\partial y^2}$$

и

$$\frac{Eh^3}{12(1-\sigma^2)} \frac{\partial}{\partial y} [\Delta_2(w_1 - w_2)] = q,$$

на опоре  $x = \frac{a}{2}$

$$w_1 = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} = 0;$$

<sup>1</sup> Под  $\sum$  здесь везде подразумевается  $\sum_{n=1}^{\infty}$ .

на опоре  $y = -\frac{a}{2}$

$$w_3 = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 w_3}{\partial y^2} = 0.$$

Эти условия дают 8 ур-вий:

$$\text{I)} \quad (A_n - A_n') \cos h \frac{n\pi\eta}{a} + (B_n - B_n') \sin h \frac{n\pi\eta}{a} + \\ + (C_n - C_n') \eta \sin h \frac{n\pi\eta}{a} + (D_n - D_n') \eta \cos h \frac{n\pi\eta}{a} = 0;$$

$$\text{II)} \quad (A_n - A_n') \sin h \frac{n\pi\eta}{a} + (B_n - B_n') \cos h \frac{n\pi\eta}{a} + \\ + (C_n - C_n') \left( \frac{a}{n\pi} \sin h \frac{n\pi\eta}{a} + \eta \cos h \frac{n\pi\eta}{a} \right) + \\ + (D_n - D_n') \left( \frac{a}{n\pi} \cos h \frac{n\pi\eta}{a} + \eta \sin h \frac{n\pi\eta}{a} \right) = 0;$$

$$\text{III)} \quad (C_n - C_n') \cos h \frac{n\pi\eta}{a} + (D_n - D_n') \sin h \frac{n\pi\eta}{a} = 0;$$

$$\text{IV)} \quad (C_n - C_n') \sin h \frac{n\pi\eta}{a} + (D_n - D_n') \cos h \frac{n\pi\eta}{a} = \beta_n,$$

где

$$\beta_n = \frac{6a^2(1-\sigma^2)\alpha_n}{n^2\pi^2 E h^3};$$

$$\text{V)} \quad A_n \cos h \frac{n\pi}{2} + B_n \sin h \frac{n\pi}{2} + C_n \frac{a}{2} \sin h \frac{n\pi}{2} + D_n \frac{a}{2} \cos h \frac{n\pi}{2} = 0;$$

$$\text{VI)} \quad C_n \cos h \frac{n\pi}{2} + D_n \sin h \frac{n\pi}{2} = 0;$$

$$\text{VII)} \quad A_n' \cos h \frac{n\pi}{2} - B_n' \sin h \frac{n\pi}{2} + C_n' \frac{a}{2} \sin h \frac{n\pi}{2} - D_n' \frac{a}{2} \cos h \frac{n\pi}{2} = 0;$$

$$\text{VIII)} \quad C_n' \cos h \frac{n\pi}{2} - D_n' \sin h \frac{n\pi}{2} = 0.$$

Из этих ур-вий определим коэффициенты

$$A_n, B_n, C_n, D_n, A_n', B_n', C_n' \text{ и } D_n'.$$

$$A_n = \frac{z_n}{2 \cos h \frac{n\pi}{2}} \left( \frac{a}{n\pi} \sin h \frac{n\pi(a+2\eta)}{2a} - \eta \cos h \frac{n\pi(a+2\eta)}{2a} - \frac{a}{2} \frac{\cos h \frac{n\pi\eta}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \right);$$

$$A_n' = \frac{z_n}{2 \cos h \frac{n\pi}{2}} \left( \frac{a}{n\pi} \sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} + \eta \cos h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} - \frac{a}{2} \frac{\cos h \frac{n\pi\eta}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \right);$$

$$B_n = -\frac{\xi_n}{2 \sin h \frac{n\pi}{2}} \left( \frac{a}{n\pi} \sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a} - \gamma \cos h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a} + \frac{a}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\gamma}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right);$$

$$B_n' = \frac{\xi_n}{2 \sin h \frac{n\pi}{2}} \left( \frac{a}{n\pi} \sin h \frac{n\pi(a-2\gamma)}{2a} + \gamma \cos h \frac{n\pi(a-2\gamma)}{2a} - \frac{a}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\gamma}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right)$$

$$C_n = -\frac{\beta_n}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}}; \quad D_n = \frac{\xi_n}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}};$$

$$C_n' = -\frac{\beta_n}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\gamma)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}}; \quad D_n' = -\frac{\xi_n}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\gamma)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}}.$$

Вставляя значения коэффициентов в ур. (а), (b) и (с), получим:

$$\begin{aligned} w_1 = \frac{a}{2} \sum \left[ \beta_n \sin \frac{n\pi(a+2c)}{2a} \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a}}{n\pi} - \frac{\gamma}{a} \cos h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{1}{2} \frac{\cos h \frac{n\pi\gamma}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \right) \frac{\cos h \frac{n\pi y}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} - \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a}}{n\pi} - \frac{\gamma}{a} \cos h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\gamma}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right) \frac{\sin h \frac{n\pi y}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} - \frac{y}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \frac{\sin h \frac{n\pi y}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} + \right. \\ \left. + \frac{y}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a} \cos h \frac{n\pi y}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right] - \\ - \frac{a}{2} \sum \left[ \beta_n \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a}}{n\pi} - \frac{\gamma}{a} \cos h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{1}{2} \frac{\cos h \frac{n\pi\gamma}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \right) \frac{\cos h \frac{n\pi x}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} - \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a}}{n\pi} - \frac{\gamma}{a} \cos h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\gamma}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right) \frac{\sin h \frac{n\pi x}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} - \frac{x}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \frac{\sin h \frac{n\pi x}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} + \right. \\ \left. + \frac{x}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\gamma)}{2a} \cos h \frac{n\pi x}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right] \end{aligned}$$

$$+ \frac{1}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\tau_1}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \left( \frac{\sin h \frac{n\pi x}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} - \frac{x}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\tau_1)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \frac{\sin h \frac{n\pi x}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} + \frac{x}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\tau_1)}{2a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \cos h \frac{n\pi x}{a} \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$w_2 = - \frac{a}{2} \sum \left\{ \rho_n \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\tau_1)}{2a}}{n\tau} - \frac{\tau_1}{a} \cos h \frac{n\pi(a+2\tau_1)}{2a} - \frac{1}{2} \frac{\cos h \frac{n\pi\tau_1}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \right) \cos h \frac{n\pi x}{a} - \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\tau_1)}{2a}}{n\pi} - \frac{\tau_1}{a} \cos h \frac{n\pi(a+2\tau_1)}{2a} + \frac{1}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\tau_1}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right) \frac{\sin h \frac{n\pi x}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} - \frac{x}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\tau_1)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \frac{\sin h \frac{n\pi x}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} + \frac{x}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a+2\tau_1)}{2a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \cos h \frac{n\pi x}{a} \right\} +$$

$$+ \frac{a}{2} \sum \left\{ \rho_n \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} \left( \sin h \frac{n\pi(a-2\tau_1)}{2a} + \frac{\tau_1}{a} \cos h \frac{n\pi(a-2\tau_1)}{2a} - \frac{1}{2} \frac{\cos h \frac{n\pi\tau_1}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \right) \cos h \frac{n\pi y}{a} + \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\tau_1)}{2a}}{n\pi} + \frac{\tau_1}{a} \cos h \frac{n\pi(a-2\tau_1)}{2a} - \frac{1}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\tau_1}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right) \frac{\sin h \frac{n\pi y}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} - \frac{y}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\tau_1)}{2a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \frac{\sin h \frac{n\pi y}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} - \frac{y}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\tau_1)}{2a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \cos h \frac{n\pi y}{a} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

$$\begin{aligned}
w_3 = & \frac{a}{2} \sum \left\{ \beta_n \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} \left[ \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a}}{n\pi} + \frac{\eta}{a} \cos h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} \right) \right. \right. \\
& - \frac{1}{2} \frac{\cos h \frac{n\pi\eta}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \left. \frac{\cos h \frac{n\pi y}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} + \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a}}{n\pi} + \frac{\eta}{a} \cos h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} \right) \right. \\
& - \frac{1}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\eta}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \left. \frac{\sin h \frac{n\pi y}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} - \frac{y}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} \sin h \frac{n\pi y}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \right. \\
& \left. \left. - \frac{y}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} \cos h \frac{n\pi y}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right] - \right. \\
& - \frac{a}{2} \sum \left\{ \beta_n \sin \frac{n\pi(a+2y)}{2a} \left[ \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a}}{n\pi} + \frac{\eta}{a} \cos h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} \right) \right. \right. \\
& - \frac{1}{2} \frac{\cos h \frac{n\pi\eta}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \left. \frac{\cos h \frac{n\pi x}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} + \left( \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a}}{n\pi} + \frac{\eta}{a} \cos h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} \right) \right. \\
& - \frac{1}{2} \frac{\sin h \frac{n\pi\eta}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \left. \frac{\sin h \frac{n\pi x}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} - \frac{x}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} \sin h \frac{n\pi x}{a}}{\cos h \frac{n\pi}{2}} \right. \\
& \left. \left. - \frac{x}{a} \frac{\sin h \frac{n\pi(a-2\eta)}{2a} \cos h \frac{n\pi x}{a}}{\sin h \frac{n\pi}{2}} \right] \dots \dots \dots (3)
\end{aligned}$$

Если на протяжении отрезка  $a_1$ , концы которого определяются координатами  $\left(\xi - \frac{a_1}{2}, \eta\right)$  и  $\left(\xi + \frac{a_1}{2}, \eta\right)$ , действует постоянная сила  $q$ ,

$$\alpha_n = \frac{2q}{a} \int_{\xi - \frac{a_1}{2}}^{\xi + \frac{a_1}{2}} \sin \frac{n\pi(a+2x)}{2a} dx = \frac{4 \sin \frac{n\pi a_1}{2a} \sin \frac{n\pi(a+2\xi)}{2a}}{n\pi}$$

и

$$\beta_n = \frac{24qa^2(1-\sigma^2) \sin \frac{\pi na_1}{2a} \sin \frac{n\pi(a+2\xi)}{2a}}{Eh^3n^3\pi^3}.$$

Это выражение для  $\beta_n$  должно быть вставлено в ур. (1) — (3). Если положим  $a_1$  бесконечно малым и  $qa_1 = P$ , а затем  $a_1 = 0$ ,

$$\beta_n = \frac{12 Pa(1-\sigma^2) \sin \frac{n\pi(a+2\xi)}{2a}}{Eh^3n^2\pi^2},$$

получим решение для случая, когда сила сосредоточена в точке  $(\xi, \eta)$ ,

Решение это можно получить и иначе, пользуясь решением, данным нами для случая, когда сила сосредоточена в точке  $(\xi, \eta)$  на прямоугольной пластинке<sup>1</sup>. Для этого надо исходить из рассмотрения квадратной пластинки, приложив в точке  $(x = \xi, y = \eta)$  силу  $P$  и в точке  $(x = \eta, y = \xi)$  силу  $-P$ .

*Б. Г. Галеркин.*

<sup>1</sup> „Инженерные сооружения и Строительная Механика“. Сборник статей. Ленинград. 1924, стр. 2—23. „Messenger of Mathematics“ (Cambridge), vol. 55 (1925), pp. 26—39

ОБЗОР  
НАУЧНЫХ РАБОТ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

ЛИИПС'а

за 1925 и 1926 г.г.



## Обзор научных работ механической лаборатории ЛИИПС'а за 1925 и 1926 годы.

Механическая лаборатория имени проф. *Н. А. Белелюбского* помимо производства текущих нормальных испытаний строительных материалов (цемента, бетонов, железа, камня, дерева и т. п.) за время с 1 января 1925 года выполнила следующие научные работы:

### 1. Сопротивление каменной кладки раздроблению.

Эта работа выполнялась лабораторией совместно с мостоиспытательным бюро НКПС.

Целью работы являлось найти зависимость сопротивления кладки от прочности камня, а также изучить закон деформаций каменной кладки.

Опыты над скатием производились на прессах Мартенса— в 500 т и Амслера в 200 т над массивами, сложенными из кирпича трех разных сопротивлений.

Деформации измерялись зеркальными приборами Мартенса. Каждая нагрузка повторялась до 30—40 раз и опыт длился по несколько дней.

В результате исследования было обнаружено отсутствие предела упругости у необжатых образцов кладки и появление его с последовательными нагрузками.

Установлен закон изменения модулей упругости кладки в зависимости от напряжений.

Констатировано существование в резкой форме явления гистерезиса для обжатой кладки.

Установлена связь между сопротивлением кладки и сопротивлением камня.

### 2. Изучение водонепроницаемости цементных растворов и бетонов.

Эта работа была предпринята в связи с предположениями Научно-Мелиорационного Института о применении бетонной одежды для оросительных каналов Голодной степи.

Целью опытов было выяснить зависимость фильтрации воды через образцы цементных растворов и бетонов от:

- а) жирности раствора (состава его),
- б) толщины образца,
- в) величины давления воды,
- г) условий твердения — в воде, на воздухе, частью в воде частью на воздухе,
- д) примеси мазута,
- е) воздействия солей,
- ж) воздействия попеременного замораживания и нагревания.

Испытания производились на приборах *Гари* при давлениях воды для растворов  $1\frac{1}{2}$ ,  $2\frac{1}{2}$  и 4 атмосферы, — для бетонов 1, 2, 3, 4. Изменялось количество воды, просачивающейся через 1 кв. см. поверхности образца в час. Толщины образцов раствора были 2 и  $3\frac{1}{2}$  см., бетона 7 и 10 см. Составы растворов были 1 :  $2\frac{1}{2}$  и 1 : 3; для бетона 1 : 2 : 4; 1 : 3 : 6 и 1 : 4 : 8. Замораживание в холодильной машине производилось до температуры —  $15^{\circ}\text{C}$ , нагревание — в термостате до  $+90^{\circ}\text{C}$ .

Цикл замораживания и нагревания повторялся до 5 раз подряд. Общее количество опытов равнялось 700.

Результаты опытов с раствором показали, что фильтрация весьма резко падает с увеличением толщины и жирности.

В отношении условий хранения наиболее благоприятным оказалось смешанное хранение — 14 дней в воде и 14 дней на воздухе.

Прибавка мазута оказалась бесполезной, что объясняется низкой вязкостью имеющегося на рынке мазута.

Попеременное действие мороза и жара резко увеличило водопроницаемость после первого цикла.

Последующие циклы влияют слабо.

Влияния солей (поваренной и глауберовой) установить не удалось за время 40—50 дней.

Для бетонов увеличение толщины понижает фильтрацию и тем резче, чем толще бетон.

Условия хранения наиболее благоприятные — 28 дней в воде.

### 3. Изучение свойств металла старого моста через реку Волхов.

Эта работа была предпринята по поручению Октябрьской ж. д. в связи с появлением трещин в уголках продольных балок указанного моста.

Были испытаны на разрыв и гнутье образцы металла из сильно и слабо работавших частей.

Установлено, что материал сильно работавших элементов обнаруживает признаки усталости в виде понижения временного сопро-

тивления и относительного удлинения, по сравнению с материалом из слабо-работавших частей.

Сдвиг в кристаллах оказался не характерным признаком для уставшего металла.

#### 4. Испытание стали на усталость.

Это испытание было проведено лабораторией по заданию завода „Электросила“, который на основании обычных механических испытаний затруднялся произвести выбор стали для турбинных валов.

Испытанию были подвергнуты образцы никелевой стали и высокоуглеродистой.

Опыты были произведены на машине типа Farmer'a, сконструированной и установленной в лаборатории в 1925/26 году.

Они установили для никелевой стали предел усталости, т.е. напряжение, ниже которого металл можно подвергать безнаказанно переменным нагрузкам,— в  $33 \text{ кл/см.}^2$  и для высокоуглеродистой,— в  $23 \text{ кл/см.}^2$ .

#### 5. Испытание электро-сварки, автогенной сварки, железа и термитной сварки рельс.

Испытание производилось над теми и другими образцами на разрыв и гнутье в связи с применением сварки при постройке железо-бетонных мостов Копорской ж. д.

Опыты показали преимущество автогенной сварки над электрической.

Кроме временного сопротивления и удлинения при опытах определялся и модуль упругости материала в месте сварки при помощи зеркальных приборов.

Для Октябрьской и Московско-Киево-Воронежской дорог лаборатория произвела сравнительное испытание сварки рельс термитом различными способами. Эти испытания позволили выбрать тип сварки, который и применен на новом мосте через реку Шошу.

#### 6. Изучение сопротивления литого бетона и способов его дозировки.

Эта работа была предпринята тоже в связи с работами Копорской ж. д., но имела целью получить данные, позволяющие проектировать составы при применении литого бетона вообще.

Пробные кубики были затворены на месте работ по инструкции, составленной лабораторией.

Испытание и обработка результатов произведены в лаборатории. Опыты были поставлены таким образом, чтобы применить методы, разработанные в Америке проф. Абрамсом в русском условиях.

Получена кривая, связывающая сопротивление бетона с количеством воды в нем; затем получены кривые, при помощи которых можно назначать состав бетона желаемой прочности в зависимости от крупности инертных веществ и требуемой консистенции раствора.

Кроме перечисленных, законченных работ в лаборатории, в настоящее время (конец 1926 года) производятся опыты:

а) с изучением сопротивления и деформаций железобетонных балок,—по поручению Кошорской дороги и

б) по изучению сопротивления цементных растворов на разных нормальных песках,—для переработки существующих норм приемки поргланд-цементов. Последняя работа поручена Лаборатории Научно-Техническим Комитетом НКПС.

Заведывающий Механической Лабораторией

Профессор *И. Беляев.*

## ВЫШЕЛ В СВЕТ

СБОРНИК ЛЕНИНГРАДСКОГО ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

выпуск 93-й,

СОДЕРЖАЩИЙ СТАТЬИ:

- Проф. А. А. Саткевич. — Критическая оценка созданной Л. Прандтлем теории несущего крыла и индуктивного сопротивления.
- А. Г. Воробьев. — О центре тяжести воздушного корабля.
- В. И. Дудаков. — Определение скороподъемности вновь проектируемого самолета.
- А. И. Кефели. — Изменение мощности винтомоторной группы с высотой и общие уравнения движения самолета.
- В. Ф. Рентель. — Определение расхода горючего и времени полета аэроплана.
- В. И. Дудаков. — Расчет плавучести гидроаэроплана.
- В. И. Семенов. — Задачи и возможности современной аэрофото-съемки в русских условиях.
- Проф. Н. А. Рынин. — Воздушные изыскания Волжской аэрогидро-линии.

Цена 3 рубля.

## В СКОРОМ ВРЕМЕНИ ВЫХОДИТ В СВЕТ

95-й ВЫПУСК СБОРНИКА ЛЕНИНГРАДСКОГО ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ,

СОДЕРЖАЩИЙ СЛЕДУЮЩИЕ СТАТЬИ:

Сорокалетний юбилей научной, учебной и инженерной деятельности профессоров Н. П. Пузыревского и В. Е. Тимонова. Проф. В. Е. Тимонов. — Вопрос об улучшении судоходности больших рек СССР в исторической перспективе. Проф. Н. П. Пузыревский. — Судоподъемники. Проф. А. М. Фролов. — Косы. Исследование по съемкам и наблюдениям вод в Саратовском участке р. Волги. Проф. Б. Ю. Калинин. — Об основной задаче теоретической эксплуатации внутренних водных сообщений. Проф. А. К. Рождественский. — Принципы установления пропускной способности оборудованных набережных в наших портах и сопоставление ее с пропускной способностью набережных в заграничных портах. Проф. В. Е. Ляхницкий. — Измерители состояния и эксплуатационной работы порта. Инж. А. И. Рихтер. — Основные расчеты маяков и створных знаков. Проф. А. А. Саткевич. — О расчетных формулах движения волны по трубам и каналам. Проф. В. Е. Ляхницкий. — XIV Международный Судовой Конгресс, состоявшийся в Каире в декабре 1956 г. Проф. А. А. Сурин. — Спринклерные оборудования.

## СКЛАД ИЗДАНИЙ

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Международный пр., д. № 9.

Сборники, а также отдельные оттиски могут быть высланы по первому требованию наложенным платежом при получении от заказчика 2-х почтовых марок 8-копеечного достоинства.

# ИЗДАНИЕ ЛЕНИНГРАДСКОГО ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Проф. В. В. Ариольд. Общие основания теории машин. Отдел I. Кинетика машин. VII-174 с. атл. в VI табл. Ленинград. 1922 г. (Распродано).

Проф. С. П. Тимошенко. Статика сооружений. Выпуск I. VII-148 стр. с атл. в XXI табл. Ленинград. 1922 г. (Распродано).

Его же. Статика сооружений. Выпуск 2-й. IV-1176 стр. с атл. в XVII табл. Ленинград. 1922 г. (Распродано).

Проф. Б. Н. Кандиба. Внутренние водные сообщения. Выпуск I-й. Свойства рек в естественном состоянии. 90 стр. с 47 рис. Ленинград. 1923 г. Цена 80 коп.

Проф. Г. П. Передерий. Материалы для проектирования железных ферм. 102 стр. с 28 рис. Ленинград. 1922 г. (Распродано).

Проф. А. О. Четов. Познавший состав и типа поездов. Отд. I. Общие описания основных форм конструкций ж.-д. подвижного состава. 96 стр. с атл. в 46 табл. Ленинград. 1922 г. Цена 1 р. 50 к.

Его же. Подвижной состав и типа поездов. Отд. II. Основные законы реализации сил тяги паровозов и сопротивления поездов. 148 стр. с 96 рис. Ленинград. 1923 г. Цена 2 р.

Проф. А. А. Саткевич. Аэродинамика, как теоретическая основа авиации. XVI-580 стр. с 107 рис. Ленинград. 1923 г. Цена 6 р.

Проф. С. П. Тимошенко. Курс сопротивления материалов. 324-1-VII стр. с 416 рис. Ленинград. 1923 г. (Распродано).

Проф. Н. П. Герсманов. Расчет боковых стенок и сплошного каменного фундамента сухих доков по методу Франсуа. 64 стр. с 21 рис. Ленинград. 1923 г. (Распродано).

Инж. В. Т. Михайлов. Товарное хозяйство железных дорог. 106 стр. с 1 граф. Ленинград. 1923 г. (Распродано).

Проф. С. Д. Карейша. Эксплуатация жел.-дор. станций. 124 стр. с 106 рис. Ленинград. 1923 г. Цена 1 р. 30 к.

Проф. Н. П. Пузыревский. Расчеты фундаментов. Выпуск I-й. Фундаменты, воспринимающие вертикальную нагрузку. XVI-113 стр. с 22 рис. Ленинград. 1923 г. (Распродано).

Его же. Расчеты фундаментов. Выпуск 2-й. Фундаменты, воспринимающие горизонтальный распор. Выпуск 3-й. Расчет прочности фундаментов. II-328 стр. с 98 рис. Ленинград. 1923 г. (Распродано).

Инж. А. М. Годыцкий-Циврко. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог. 128 стр. с 57 рис. Ленинград. 1923 г. Цена 80 к.

Личный состав, учебные планы и программы Ленинградского Института Инженеров Путей Сообщения. 288 стр. Ленинград. 1923 г. Цена 2 р.

Инж. П. А. Молчанов. Методы и приборы современной авионавигационной службы. 208 стр. с 156 рис. Ленинград. 1924 г. Цена 2 р. 75 к.

Инж. А. Г. Воробьев. Механика свободного воздуха. 184 стр. с 40 рис. Ленинград. 1924 г. (Распродано).

Инж. Б. В. Веденеев. Гидроэлектрические силовые установки. 256 стр. с 13 рис. Ленинград. 1924 г. (Распродано).

Проф. В. Е. Тимонов. Однородная характеристика и классификация портов. 75 стр. Ленинград. 1924 г. Цена 1 р.

Инж. М. Гельман. Гидрология. 195 стр. с 34 рис. Ленинград. 1925 г. Цена 1 р. 80 к.

Проф. Д. И. Юскевич. Электрические и магнитные явления с точки зрения физических процессов. 188 стр. с 66 рис. Ленинград. 1925 г. Цена 1 р. 60 к.

Проф. Н. П. Пузыревский. Шаговые ворота и пропуск судна через шлюзы. 304 стр. с 76 рис. Ленинград. 1925 г. Цена 2 р.

Проф. Г. П. Передерий. Материалы для проектирования железных ферм. 2-е издание. 100 стр. с 33 рис. Ленинград. 1925 г. Цена 1 р. 30 к.

Проф. В. В. Ариольд. Основы учения о машинах. Изд. 2-е дополненное. XIV-352 стр. с 281 черт. Ленинград. 1925 г. Цена 6 р.

Н. В. Миконин. История железных дорог. Краткий очерк 1825 — 1925 гг. VII-437 стр. с 19 иллюстрац. Ленинград. 1925 г. Цена 45 к.

Инж. Д. М. Акимов-Перетт. Статика сооружений. II отдел. Теория и расчет арки. 344 стр. с 168 черт. Ленинград. 1926 г. Цена 3 р. 30 к.

Инж. Б. В. Веденеев. Гидроэлектрические силовые установки. 2-е изд. 238-1-7 п. номер. 128 стр. с 131 черт. Ленинград. 1926 г. Цена 2 р. 30 к.

Проф. К. Н. Кавкин. Вступительная лекция к курсу «Изучения железных дорог» (сокращенное изложение). 82 стр. Ленинград. Цена 45 к.

Инж. В. Т. Михайлов. Товарное хозяйство жел. дорог. Изд. 2-е переработанное и дополненное. 97 стр. с 10 рис. Ленинград. 1926 г. Цена 1 р. 20 к.

Проф. Н. М. Вельев. Расчет некоторых элементов металлических конструкций. II-102 стр. с 88 черт. Ленинград. 1926 г. Цена 1 р. 60 к.

Проф. Г. П. Передерий. Материалы для проектирования. Расчет висячих мостов. II-148 стр. с 69 черт. Ленинград. 1926 г. Цена 2 р. 10 к.

Инж. В. Т. Михайлов. Экономика паровозной тяги поездов. 157 стр. с 59 черт. Ленинград. 1926 г. Цена 1 р. 60 к.

Проф. С. П. Тимошенко. Курс статки сооружений. Ч. I. 2-е издание (1-е было в двух выпусках). Изд. 1926 г. 391 стр. 479 черт. Цена 6 р.

Проф. В. Е. Ляжикский. Механика перегрузочных работ на транспорте. 176 стр. с 110 черт. Ленинград. 1927 г. II. 1 р. 80 к.

В. А. Кречмар. Интегрирование функций и приложение дифференциального исчисления к геометрии. Изд. 1926 г. 128 стр. Цена 1 р. 20 к.

Инж. П. Я. Гордеевский и В. С. Хальфин. 30 задач по эксплуатационным расчетам. 96 стр. 24 черт. Ленинград. 1926 г. Цена 90 к.

Проф. А. А. Саткевич. Основной курс гидравлики. I часть. 344 стр. 66 черт. Ленинград. 1927 г. Цена 3 р. 60 к.

Инж. Д. Я. Акимов-Перетт. Стат. сооруж. Непрерывные балки на жестких опорах. 345 стр. 40 табл. 236 фиг. Цена 4 р. 65 к.

## СКЛАД ИЗДАНИЙ:

Институт Инженеров Путей Сообщения

Ленинград Международный пр., д. 9.

**Цена 3 р. 50 к.**