

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта



Допускается к защите

Зав. кафедрой

« 02 » июня 2016 г.


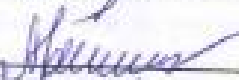



A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the department head, written over the date.

Кафедра:

«Транспортная логистика и сервис»

Тема: «Организация движения поездов повышенной массы и длины на железнодорожных участках»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

Автор		Алимбоев Х.Ф.
Основной консультант		Косимов А.Х.
Консультант по экономической части		Гуломов А.А.
Консультант по охране труда и безопасности движения поездов		Турсунов З.Ш.
Консультанты		Эгамбердиев Р.А.
Рецензент		Ахмедов Н.Г.



# Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта



Допускается к защите

Зав. кафедрой

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Кафедра:

«Транспортная логистика и сервис»

Тема: «Организация движения поездов повышенной массы и длины на железнодорожных участках»

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Автор	_____	Алимбоев Х.Ф.
Основной консультант	_____	Косимов А.Х.
Консультант по экономической части	_____	Гуломов А.А.
Консультант по охране труда и безопасности движения поездов	_____	Турсунов З.Ш.
Консультанты	_____	Эгамбердиев Р.А.
Рецензент	_____	Ахмедов Н.Г.

ТАШКЕНТ – 2016

**АО “Ўзбекистон темир йуллари”**  
**Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта**

Факультет «ОП и ТЛ»

Кафедра «Транспортная логистика и Сервис»

**ЗАДАНИЕ**

Выпускнику Алимбоеву Хайдарали Фархотовичу

*на разработку выпускной работы бакалавра на тему:*

«Организация движения поездов повышенной массы и длины на  
железнодорожных участках»

1. Требуется выполнить:

1. Взаимосвязь массы поезда и ходовой скорости движения
2. Взаимосвязь участковой и ходовой скоростей движения
3. Зависимость времени оборота и рабочего парка вагонов от массы поезда и скорости движения
4. Влияние массы и скорости движения поездов на потребное количество локомотивных бригад
5. Зависимость расхода топлива или электроэнергии от массы и скорости движения поездов
6. Определение расчетной массы и длины поездов на участке
7. Общие принципы организации подталкивания
8. Выбор типа и серии подталкивающего локомотива
9. Оптимизация распределения вагонопотоков на сети железных дорог
10. Общие положения и принципы оценки вариантов унифицированной нормы массы поездов
11. Расходы, приходящиеся на измеритель тонно-километры брутто перевозочной работы
12. Определение суммарных приведенных расходов для альтернативных вариантов норм массы поездов

13. Структура продольных сил в поездах и их влияние на безопасность движения поездов

14. Механика обрыва автосцепки и выжимания вагонов в грузовых поездах

2. Выпускная работа должна состоять из:

А. Чертежей: 3-4 листов по указанию руководителя.

Б. Пояснительной записки, написанной собственноручно.

Все решения должны приниматься на основе технико-экономических обоснований и исходить из широкого применения передовых методов труда и широкого использования новой техники во всех отраслях хозяйства ж.д.

При выполнении выпускной работы необходимо пользоваться Уставом ж.д., Правилами технической эксплуатации и действующими положениями и технической литературой по указанию руководителя.

Пояснительная записка должна содержать полное и краткое описание разделов выпускной работы. В пояснительной записке должны быть приведены также выводы, заключения и итоговые данные расчетов. Все вспомогательные расчеты и таблицы помещаются в приложениях к основной записке.

В начале пояснительной записки помещается содержание выпускной работы в конце список использованной литературы и перечень выполненных чертежей.

Приложение 1

Укрупненные данные для подсчета длины и массы подвижного состава

Род подвижного состава (код учетной группы)	Масса тары единицы подвижного состава, т	Приведенная длина
Крытый 4-осный (кр)	22,4	1,05
То же с тормозной площадкой (кр)	24,2	1,10
То же для автомобилей (кр)	42,0	1,76
Крытый 4-осный для скота с нижним расположением люков (кр)	24,3	1,25
То же с верхним расположением люков	25,6	1,29
Крытый 4-осный с поднимающимся кузовом для апатитового концентрата (кр)	26,5	0,83
Крытый 4-осный для перевозки цемента и зерна (кр)	22,0	0,87
Полувагон 4-осный (пв)	22,0	1,00
То же с тормозной площадкой (пв)	24,0	1,03
Полувагон 4-осный саморазгружающийся для сыпучих грузов (пв)	25,0	0,87
Полувагон 8-осный с люками в полу и торцовыми дверями (пв)	44,5	1,45
Платформа 4-осная для крупнотоннажных контейнеров (пл)	22,0	1,40
То же для леса в хлыстах (пл)	28,3	1,80
Платформа двухъярусная для легковых автомобилей (пл)	26,0	1,55
Думпка 4-осная без ручного тормоза	30,2	0,83
Думпка 8-осная (думпк)	78,0	1,26
Цистерна 4-осная без переходной площадки (цс)	23,2	0,86
То же с переходной площадкой (цс)	24,5	0,88
То же для бензина и светлых нефтепродуктов (цс)	25,3	0,97
Цистерна 8-осная для нефти (цс)	51,0	1,34
Цистерна 8-осная для нефтепродуктов	48,8	1,51
Вагон грузовой рефрижераторного поезда (рефр)	42,0	1,16
Вагонно-машинное отделение рефрижераторного 23-вагонного поезда (рефр.)	75,4	1,16
Автономный рефрижераторный вагон грузоподъемностью 40 т (рефр.)	44,0	1,44

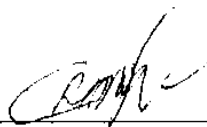
## Расчетные характеристики тепловозов

Серия тепловозов	Расчетная масса, т	Число осей	Длина, м	Конструкционная скорость, км/ч	Масса по сцеплению $P_{сц}$ , т	Передаточное число $\mu$	Длительная или расчетная скорость $v$ , км/ч	Длительная или расчетная сила тяги $F_k$ , кН
ТЭ10 (1 секция)	129	6	19	100	127	4,41	23,4	248,2
2ТЭ10Л	260	12	34	100	255	4,41	23,4	496,4
2ТЭ10В, 2ТЭ10М, 2ТЭ10МК, 2ТЭ10С, 2ТЭ10У	276	12	34	100	271	4,41	23,4	490
3ТЭ10М, 3ТЭ10М, 3ТЭ10МК, 3ТЭ10С, 3ТЭ10У	414	18	51	100	406	4,41	23,4	735
2ТЭ116, 2ТЭ116К, 2ТЭ116КМ, 2ТЭ116У	276	12	36	100	271	4,41	24,2	496,4
ТЭ25В «Витязь» (1 секция)	147	6	17	120	144	3,89	18,5	390,4
М62, ДМ62	120	6	18	100	119	4,53	20,0	196,2
2М62	240	12	36	100	238	4,53	20,0	392,4
ТЭ121 (1 секция)	153		21	100	150	4,72	27	294
2ТЭ25К «Пересвет»	294	12	40	110	288	3,89	24	600
ЧМЭЗ, ЧМЭЗК, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ	123	6	18	95	121	5,07	11,4	225,6
ТЭМ2, ТЭМ2А, ТЭМ2К, ТЭМ2У	120	6	17	100	118	4,53	11	206,0

**Сила тяги тепловозов при трогании с места**

Серии тепловозов	Сила тяги при трогании с места $F_{х12}$ , кН	Ограничение силы тяги	Серии тепловозов	Сила тяги при трогании с места $F_{х12}$ , кН	Ограничение силы тяги
ТЭ10	374,7	По сцеплению	3М62	1050,7	По сцеплению
2ТЭ10М, 2ТЭ10МК, 2ТЭ10С, 2ТЭ10У, 2ТЭ10В	811,8	То же	2ТЭ70	829,4	То же
	797,1	»	2ТЭ25К	803,6	»
2ТЭ10Л	758,8	»	ЧМЭЗ, ЧМЭЗК, ЧМЭЗП, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ	356,1	»
3ТЭ10М, 3ТЭ10МК, 3ТЭ10С, 3ТЭ10У	1217,7	»	ТЭМ2, ТЭМ2А, ТЭМ2К, ТЭМ2У, ТЭМ1В, ТЭМ1ВД	390,6 390,6	»
4ТЭ10С	1623,6	»	ТЭМ7, ТЭМ7А	585,9	»
2ТЭ116, 2ТЭ116К	797,6	»	ТГ16	403,5	»
2ТЭ116КМ, 2ТЭ116У, 2ТЭ116УП	810,4	»	ТГ21	470,0	»
3ТЭ113	1196,3	»	ТГ22	235,0	»
М62, ДМ62	350,2	»	ТГМ11	263,0	»
2М62, 2М62К, 2М62У	700,4	»			

Руководитель выпускной работы  
(подпись)



ст.лр. Касимов А.Х.

Заведующий кафедрой «ТЛ и С»  
(подпись)



к.т.н Кобулов Ж.Р.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
<b>ГЛАВА 1. ВЗАИМОСВЯЗЬ МАССЫ ПОЕЗДА И ХОДОВОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ.....</b>	<b>10</b>
1.1 Взаимосвязь участковой и ходовой скоростей движения.....	10
1.2. Зависимость времени оборота и рабочего парка вагонов от массы поезда и скорости движения.....	19
1.3. Зависимость показателей использования локомотивов от массы, длины и скорости движения поездов.....	22
1.4. Влияние массы и скорости движения поездов на потребное количество локомотивных бригад.....	25
1.5. Зависимость расхода топлива или электроэнергии от массы и скорости движения поездов.....	26
1.6. Зависимость провозной способности от массы и скорости движения поездов.....	27
<b>ГЛАВА 2. ВЫБОР УЧАСТКОВОЙ И УНИФИЦИРОВАННО НОРМЫ МАССЫ И ДЛИНЫ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ.....</b>	<b>30</b>
2.1. Определение расчетной массы и длины поездов на участке.....	30
2.3. Общие принципы организации подталкивания.....	39
2.4. Выбор типа и серии подталкивающего локомотива.....	41
<b>ГЛАВА 3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ УНИФИЦИРОВАННОЙ НОРМЫ МАССЫ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ.....</b>	<b>44</b>
3.1 Общие положения и принципы оценки вариантов унифицированной нормы массы поездов.....	44

3.2. Приведенные расходы, приходящиеся на 1 вагоно-час простоя вагона.....	50
3.3.Приведенные расходы, приходящиеся на 1 локомотиво-час работы поездного локомотива.....	52
3.4. Расходы, приходящиеся на измеритель тонно-километры брутто перевозочной работы.....	54
3.5.Определение суммарных приведенных расходов для альтернативных вариантов норм массы поездов.....	54
3.6.Определение величины измерителей для расчета расходов, зависящих от нормы массы поезда.....	57

#### **ГЛАВА 4. ЧАСТЬ ПО ОХРАНЕ ТРУДА.**

#### **ВЛИЯНИЕ МАССЫ, ДЛИНЫ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ.....**

59

4.1.Структура продольных сил в поездах и их влияние на безопасность движения поездов.....	59
---	----

4.2.Механика обрыва автосцепки и выжимания вагонов в грузовых поездах.....	66
--	----

<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>72</b>
------------------------	-----------

<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>74</b>
-------------------------------	-----------

## **ВВЕДЕНИЕ**

Устойчивая работа транспортной системы любой страны является важнейшим условием ее социально-экономического развития. Процесс перевозок сырья и готовой продукции составляет одно из основных звеньев в цепи материального производства. Он может выполняться различными видами транспорта.

В транспортной системе Республики Узбекистан железные дороги занимают ведущее место. Это объясняется их универсальностью, возможностью обслуживать производящие отрасли хозяйства и удовлетворять потребности населения в перевозках независимо от погоды, практически в любых климатических условиях и в любое время года. Кроме того, по энергетическим и экологическим показателям железнодорожный транспорт опережает авиационный и автомобильный, а по возможностям перевозки разнообразных массовых грузов не имеет себе равных.

Главным преимуществом железных дорог является низкий уровень себестоимости перевозок. Именно поэтому, несмотря на относительно бурное развитие автомобильного, воздушного и трубопроводного транспорта, железнодорожный транспорт остается во многих странах основным средством перемещения грузов и массовых перевозок населения.

Железнодорожному транспорту в Республики нет альтернативы. Потенциальная возможность железных дорог сохранять положительную разницу в уровнях себестоимости перевозок по сравнению с другими видами транспорта создает для них реальные перспективы развития в обозримом будущем. Они могут быть реализованы при условии повышения качества железнодорожной сети, в частности, за счет специализации линий по видам перевозок (пассажирские и грузовые), выделения в структуре сети опорных магистралей для тяжелых или скоростных грузовых поездов, а также технического перевооружения железнодорожного транспорта.

# **ГЛАВА 1. ВЗАИМОСВЯЗЬ МАССЫ ПОЕЗДА И ХОДОВОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ**

## **1.1 Взаимосвязь участковой и ходовой скоростей движения**

В процессе выбора оптимальных значений массы и скорости движения поездов следует учитывать, что они находятся в сложной технической и экономической связи как между собой, так и с многими параметрами железнодорожной линии.

Движение поезда по участку протекает в трех режимах:

с тягой, когда на поезд воздействуют как сила тяги локомотива, так и силы сопротивления;

холостого хода, когда двигатели отключены, поезд движется за счет накопленной кинетической и, возможно, потенциальной энергии, на него воздействуют силы сопротивления движению;

торможения, когда двигатели отключены, поезд движется под воздействием сил инерции, на него воздействуют силы основного и дополнительного сопротивления, а также тормозные силы. Зависимости между массой поезда и скоростью движения на рабочей части профиля пути (режим с тягой) и на нерабочей части профиля (режимы выбега или торможения) имеют разный характер. Более того, протяженность рабочей части профиля значительно превосходит его нерабочую часть. Если на рабочей части профиля пути масса и скорость движения поезда во многом зависят от тяговых параметров локомотива, то на нерабочей части профиля такой зависимости нет.

Одним из важнейших принципиальных различий является то, что на рабочей части профиля пути всегда расходуется топливо или электроэнергия на тягу поезда. На нерабочей части в режиме выбега такого расхода не происходит, а движение поезда здесь осуществляется за счет кинетической и потенциальной энергии, приобретенных на рабочей части при движении с включенными

двигателями. В режиме торможения теряется часть кинетической энергии поезда и, следовательно, топливо или электроэнергия, ранее затраченные на ее приобретение.

Скорость движения поезда на рабочей части профиля участка и его масса в значительной мере определяются мощностью локомотива  $N$ , кВт,

$$N = \frac{FV}{3,6'} \quad 1.1$$

где  $F$  – сила тяги локомотива, кН;  $V$  – скорость движения, км/ч;  $3,6$  – коэффициент, позволяющий перевести скорость из размерности километр в час (км/ч) в размерность метр в секунду (м/с). Так как сила тяги локомотивов с увеличением скорости уменьшается, то в формулу (1.1) подставляются взаимосвязанные значения  $F$  и  $V$ , которые могут быть взяты для заданного локомотива из графиков тяговых характеристик, приведенных в ПТР или в других справочно-нормативных документах.

Так, например, у электровоза ВЛ80 с при расчетной скорости  $v$  / км 5, 43  $V$  р, сила тяги составляет 502,3 кН, при других скоростях сила тяги будет иной. В качестве примера на рис. 1.0 приведены графики зависимости мощности локомотива ВЛ80 Си 2ТЭ10В от скорости движения, рассчитанные по формуле (4.30) с использованием тяговых характеристик. Эти зависимости позволяют сделать вывод, что мощность как тепловоза, так и электровоза с увеличением скоростей от 0  $V$  до  $v$   $V$  растет. Это объясняется тем, что в данном диапазоне скоростей сила тяги локомотива ограничивается величиной силы сцепления колес с рельсами, которая сравнительно мало зависит от скорости движения. При таких скоростях локомотивы работают очень непродолжительное время только при разгоне поезда после стоянки.

В рабочем диапазоне скоростей от расчетной до конструкционной мощность тепловоза остается практически постоянной. Мощность электровоза с увеличением скорости снижается. Эти закономерности характерны для всех серий тепловозов и электровозов.

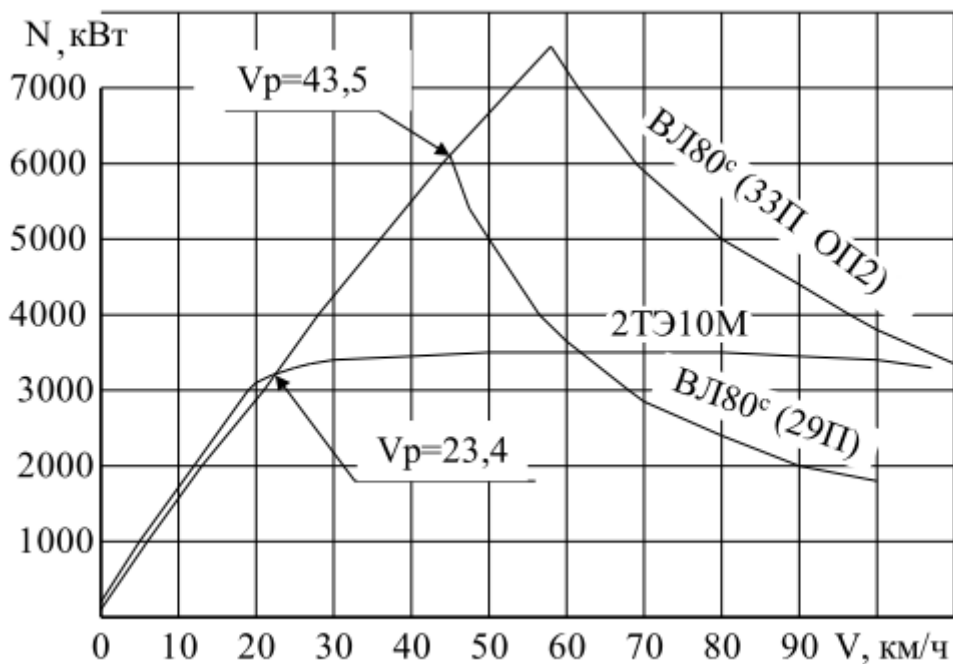


Рис. 1. Зависимость мощности локомотива от скорости движения

Определив из формулы (1.2) величину силы тяги

$$F = \frac{3.6N}{V}, \quad (1.2)$$

$$Q = \frac{3.6N}{(\omega_0 + i_p)gV_p} - M_{л} \quad (1.3)$$

Из равенства (4.31) следует, что независимо от вида тяги при заданных технических средствах и принятом типе локомотива увеличение массы поезда на рабочей части профиля пути возможно только за счет снижения уровня скорости в интервале от конструкционной до расчетной и, наоборот, увеличить скорость можно, уменьшая массу поезда.

Поскольку равенство (1.3) выведено из условия равномерности скорости на расчетном подъеме в период, когда сила тяги уравнивается силами сопротивления, то сделанные выводы справедливы и для любых других рабочих элементов профиля в периоды, когда сила тяги уравнивается силами сопротивления. Так как масса поезда, рассчитанная по величине расчетного

подъема на перегоне (участке), остается постоянной, то при переходе поезда с расчетного подъема на более легкую скорость возрастает, стремясь к равновесному значению, а затем снижается при переходе поезда на более трудные участки профиля.

На нерабочей части профиля скорость движения и масса поезда не взаимосвязаны. Здесь скорость ограничивается техническим состоянием вагонов, локомотивов, железнодорожного пути, включая искусственные сооружения, а также условиями торможения поездов. В каждом конкретном случае принимается меньшее значение скорости из перечисленных ограничений.

Ходовая скорость  $V_x$ , км/ч, на участке длиной  $L$  определяется средними уровнями скорости  $V$  на рабочей части профиля пути и  $V_n$  на нерабочей его части, а также соотношением доли протяженности рабочей части профиля, и доли ( $1-\mu$ ) нерабочей части

$$V_x = \frac{L}{\left[ \frac{L}{V} \mu + \frac{L}{V_n} (1-\mu) \right]} = \frac{V V_n}{V_n \mu + V (1-\mu)} \quad 1.4$$

В знаменателе уравнения (в квадратных скобках) первое слагаемое представляет время хода по рабочей части профиля участка, а второе – по его нерабочей части.

Протяженность нерабочей части профиля в общей длине участка зависит от многих факторов и прежде всего от мощности локомотива, при этом величину средней скорости на рабочей части профиля, а также от уровня максимальной скорости, установленной по техническому состоянию подвижного состава и железнодорожного пути.

Чем меньше удельная мощность локомотива и, следовательно, ниже средняя скорость движения на рабочей части профиля пути и чем выше уровень максимальной скорости, тем меньше будет доля нерабочей части профиля пути. В этом случае большую часть профиля поезд будет проходить с тягой.

Исследования показывают, что при средней скорости движения на рабочей части профиля (60–70) км/ч и максимальной – 90 км/ч, в зависимости от характера профиля доля рабочей части профиля пути сохраняется в пределах 80–90 %. На одних и тех же участках доля для тепловозной тяги выше, чем для электрической. Объясняется это тем, что тепловозы имеют меньшую удельную мощность и реализуют более низкие скорости при выходе поезда на спуски. В результате поезд, управляемый тепловозом, двигается по спуску с тягой до момента достижения максимальной скорости, преодолевая большее расстояние, чем электровоз. Чем больше мощность локомотива, приходящаяся на 1 т массы поезда, тем выше ходовая скорость и тем большее расстояние поезд проходит с использованием режимов выбега или торможения. Удельный же вес скорости движения на нерабочей части профиля (от уровня ходовой) для вышеуказанного значения  $\mu$  составляет всего 5–8 %, остальные 92–95 % приходятся на рабочую часть, где скорость определяется в основном величинами массы поезда и мощности локомотива.

Необходимо отметить, что на долю нерабочей части профиля пути заметное влияние оказывает постоянно действующее ограничение скорости как по станциям, так и по перегонам. Современные (мощные) тепловозы и электровозы обладают достаточно большой удельной мощностью, в результате чего скорость на рабочей части профиля приближается к максимально допускаемой, а в местах постоянно действующих предупреждений и ограничений превышает ее. Это приводит к частым торможениям и, как следствие, к потерям топлива и электроэнергии на тягу поездов. Устранить эти потери можно только за счет повышения допускаемых скоростей и ликвидации ограничений скорости как по станциям, так и по перегонам.

Аналитическая взаимосвязь между скоростью движения поезда и его массой в целом на участке определяется вторым законом Ньютона, который устанавливает, что ускорение тела,  $m/s^2$ , в результате действия на него силы  $F$  пропорционально величине этой силы и обратно пропорционально массе тела  $M$

$$a = \frac{F}{M} \quad (1.5)$$

Если ускорение, сила и масса измеряются в системе СИ, то коэффициент равен единице, т. е. величина этого коэффициента зависит от используемой в расчетах системы измерения единиц.

Согласно формуле (1.5) сила, равная 1 Н, действуя на тело массой 1 кг, сообщает ему ускорение 1 м/с<sup>2</sup>.

В эксплуатационных расчетах для всех поездов его величину принимают в среднем  $\gamma = 0,06$ .

В уравнении (1.6), называемом уравнением движения поезда, подразумевается, что в режиме торможения сила тяги  $F_k=0$ , и наоборот, в режиме тяги – сила торможения  $B=0$ . Поскольку в этом уравнении все величины измеряются в системе СИ, то коэффициент=1.

В эксплуатационной работе железных дорог, а также в разнообразных инженерных расчетах в большинстве случаев используется внесистемная единица измерения скорости – км/ч, в отличие от м/с в системе СИ. В связи с этим прирост скорости в единицу времени, т. е. ускорение  $dV/dt$ , определяемое по формуле (1.7), целесообразно измерять в километрах на час в квадрате (км/ч<sup>2</sup>)

В целях перевода ускорения в эту единицу измерения, а также перехода от полных значений сил к удельным, умножим числитель и знаменатель уравнения движения поезда на  $g$  (ускорение силы тяжести). Тогда в знаменателе произведение  $g(Q+M_n)$  будет представлять вес поезда в кН, а отношения сил

$F_k, W_k$  и  $B$  к весу поезда определит соответствующие удельные силы –  $f_k, w_k, b$ . Одновременно приняв ускорение силы тяжести равным

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2 = \frac{9,81 \cdot 60^2 \cdot 60^2}{1000} \approx 127000 \text{ км/ч}^2, \text{ а } \gamma = 0,06,$$

получим

$$\frac{dV}{dt} = \frac{(F_k \pm W_k - B)g}{1000 (Q + M_{л}) (1 + \gamma) g} = \frac{(F_k \pm W_k - B)}{(Q + M_{л}) g} \frac{127000}{1000 (1 + 0,06)},$$

т. е.

$$\frac{dV}{dt} = 120 (f_k \pm w_k - b), \quad 1.7$$

где 120 – ускорение поезда при воздействии силы в 1Н/кН, км/ч<sup>2</sup>;  
 $f_k \pm w_k - b$  – результирующая удельная сила, воздействующая на поезд, Н/кН.

Из уравнения (1.7) следует, что если на поезд будет воздействовать постоянная удельная сила, равная 1 Н/кН, то скорость поезда возрастет на 120 км/ч за час действия силы.

Поэтому скорость движения на рабочей части профиля пути при заданном профиле участка и серии локомотива возможно изменять только за счет массы поезда. Однако так как средняя ходовая скорость движения на участке зависит также еще от максимально допустимого уровня скорости и ее ограничений по состоянию пути и искусственных сооружений, то прирост массы, измеряемый в процентах, всегда бывает больше, чем связанное с этим уменьшение скорости хода по участку, т. е. если масса поезда, предположим, увеличена на 20 %, то средняя скорость снизится в меньшей мере.

Наоборот, если попытаться повысить среднюю ходовую скорость на несколько процентов, то для этого необходимо уменьшить массу поезда, но в большей степени, чем повышается скорость.

Это обстоятельство необходимо всегда учитывать, когда решается вопрос о целесообразности повышения массы поезда, или скорости, при заданном типе локомотива.

Поэтому скорость движения на рабочей части профиля пути при заданном профиле участка и серии локомотива возможно изменять только за счет массы поезда. Однако так как средняя ходовая скорость движения на участке зависит также еще от максимально допустимого уровня скорости и ее ограничений по

состоянию пути и искусственных сооружений, то прирост массы, измеряемый в процентах, всегда бывает больше, чем связанное с этим уменьшение скорости хода по участку, т. е. если масса поезда, предположим, увеличена на 20 %, то средняя скорость снизится в меньшей мере.

Наоборот, если попытаться повысить среднюю ходовую скорость на несколько процентов, то для этого необходимо уменьшить массу поезда, но в большей степени, чем повышается скорость.

Это обстоятельство необходимо всегда учитывать, когда решается вопрос о целесообразности повышения массы поезда, или скорости, при заданном типе локомотива.

Формулами (1.9), (2.0) и (2.1) можно пользоваться в аналитических расчетах определения скорости, времени и расстояния только в тех случаях, когда результирующая сил, действующих на поезд, постоянна на рассматриваемом отрезке пути. В связи с тем, что сила тяги локомотива и силы сопротивления движению поезда изменяются в зависимости от скорости движения и характера профиля пути, задача определения скорости и времени хода решается интегрированием уравнения движения поезда. В этих целях могут быть использованы аналитические и графические способы интегрирования уравнения, требующие значительных затрат рабочего времени.

В экономической оценке различных вариантов норм массы и ходовой скорости движения поездов используется участковая скорость, во многом зависящая от уровня ходовой. На основе участковой скорости определяется время оборота вагонов и локомотивов, их рабочий и эксплуатируемый парк, количество локомотивных бригад, а также связанные с ними денежные затраты. Участковая скорость рассчитывается отдельно для каждого железнодорожного участка, а затем определяется ее средневзвешенное значение для рассматриваемого железнодорожного полигона. Ее расчет может быть выполнен с использованием аналитических зависимостей или более точно по графикам движения поездов.

Уровень участковой скорости  $V_0$  зависит от ходовой  $V_b$ , а также от количества и продолжительности стоянок поездов на участке и определяется обычно по формуле

$$V_y = \beta_x V_x, \quad 1.16$$

где  $\beta_x$  – коэффициент участковой скорости.

Величину коэффициента  $\beta_x$  можно определить в зависимости от потерь времени на остановки поездов

$$\beta_x = \frac{\sum T'_x + \sum T''_x}{\sum T'_x + \sum T''_x + \sum T_{ст}} = 1 - \frac{\sum T_{ст}}{\sum T'_x + \sum T''_x + \sum T_{ст}}, \quad 1.17$$

Подставив развернутое значение коэффициента  $\beta_x$  в формулу (1.16), получим

$$V_y = \left( 1 - \frac{\sum T_{ст}}{\sum T'_x + \sum T''_x + \sum T_{ст}} \right) V_x. \quad 1.18$$

Основными причинами остановок поездов на участке является необходимость организации обгонов грузовых поездов пассажирскими и ускоренными поездами, а на однопутных линиях – также и скрещения грузовых поездов между собой и с пассажирскими. Общее время простоя по этим причинам, приходящееся на пару поездов на однопутной линии.

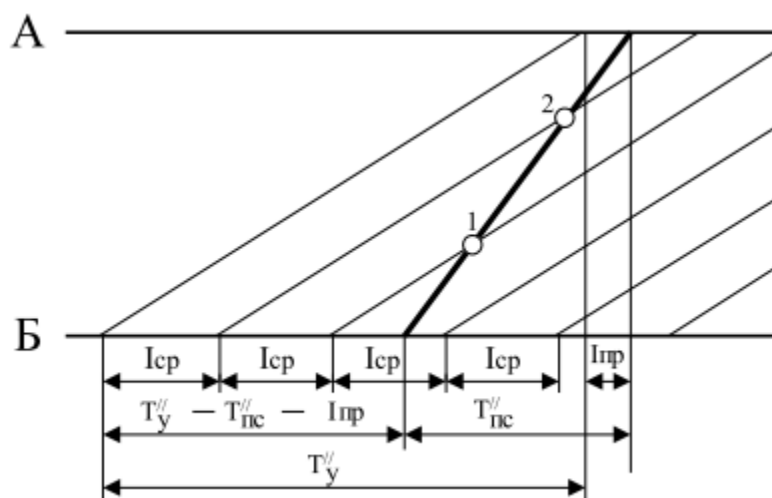


Рис 1.2. Схема обгонов грузовых поездов пассажирским на участке

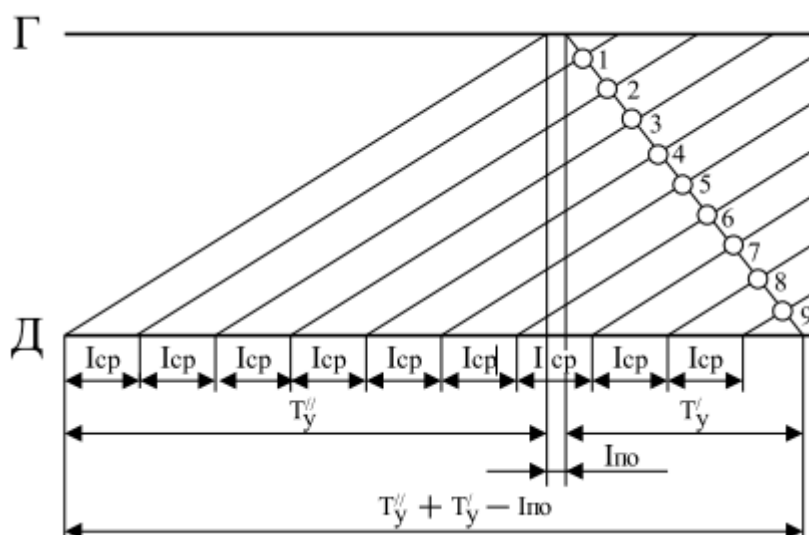


Рис 1.3 Схема скрещений грузовых поездов на участке

## 1.2. Зависимость времени оборота и рабочего парка вагонов от массы поезда и скорости движения

Время оборота и рабочий парк вагонов являются важнейшими показателями качества эксплуатационной работы железных дорог. Их уровень во многом определяет расходы железнодорожного транспорта, связанные с грузовыми

перевозками. В свою очередь, они существенно зависят от значений массы и скорости движения поездов.

Время оборота вагонов, сут, 2 определяется по известной формуле

$$\theta = \frac{1}{24} \left( \frac{l}{V_y} + \frac{l}{L_m} t_m + K_m t_{гр} \right), \quad 1.2.1$$

где  $l$  – рейс вагона, км;  $V_y$  – участковая скорость, км/ч;  $L_m$  – вагонное плечо, км;  $t_m$  – средний простой транзитного вагона на технической станции, ч;  $K_m$  – коэффициент местной работы;  $t_{гр}$  – средний простой местного вагона (на станциях погрузки и выгрузки), приходящийся на одну грузовую операцию, ч.

Первое слагаемое формулы представляет собой время нахождения вагона в движении за время оборота с учетом стоянок на промежуточных станциях. Оно зависит от уровня участковой и, следовательно, ходовой скорости и составляет для сети железных дорог примерно одну треть от общего времени оборота вагона. Поскольку ходовая скорость тесно связана с массой поезда, то эта часть времени оборота также зависит от массы поездов.

Величина времени простоя транзитных вагонов с переработкой и без переработки связана с массой поезда не только продолжительностью маневров по расформированию, формированию и техническому обслуживанию поездов в приемоотправочных парках, но главным образом временем простоя вагонов под накоплением

$$t_{нак} = \frac{c m K_{пф}}{N_{нак}},$$

где  $t_{нак}$  – средний простой вагона под накоплением, ч;  $c$  – параметр накопления;  $K_{пф}$  – количество назначений плана формирования;  $N_{нак}$  – количество вагонов, участвующих в накоплении за сутки;  $m$  – средний состав поезда в физических вагонах

$$m = \frac{Q_{бр}^*}{q_{бр}^*},$$

где  $Q_{бр}$  и  $q_{бр}$  – средние значения массы брутто соответственно поезда и одного вагона, т. Так как

$$N_{нак} = \frac{\Gamma_n \gamma_{тр}}{365 \varphi q_{бр}^*},$$

то

$$t_{нак} = \frac{Q_{бр}^* \varphi K_{пф} 365}{\gamma_{тр} \Gamma_n} \text{ см}, \quad 1.2.2$$

где  $\Gamma_n$  – грузооборот, т нетто в год;  $\varphi$  – отношение средней массы вагона нетто к массе брутто;  $\gamma_{тр}$  – коэффициент транзитности, представляющий собой отношение перерабатываемого на станциях вагонопотока к приходящему, без переработки.

Опыт работы российских железных дорог свидетельствует, что по мере роста объемов перевозок для сокращения эксплуатационных расходов целесообразно увеличивать число назначений плана формирования, так как с ростом мощности вагонопотока сокращается средний простой под накоплением. В то же время увеличение массы поезда оказывает противоположное действие, так как при этом увеличивается число вагонов в составе и, следовательно, время накопления поездов.

Количество назначений плана формирования связано с массой поезда следующей примерной эмпирической зависимостью, предложенной профессором Б.М. Максимовичем

$$K_{пф} = \left( 0,27 + \frac{1610}{Q_{бр}^*} \right) \Gamma_n L \cdot 10^{-9}, \quad 1.2.3$$

где  $L$  – длина полигона, на котором рассчитывается число назначений плана формирования, км.

При расчете времени оборота вагона время простоя вагонов под накоплением учитывается как составляющая часть среднего времени простоя

транзитных вагонов с переработкой и без переработки на технических станциях, входящего во второе слагаемое формулы оборота вагона.

Потребный рабочий парк  $n_p$ , ваг./сут, связан со средней массой поезда и скоростью движения через оборот вагона, ваг./сут,

$$n_p = \frac{1}{24} U \left( \frac{1}{V_y} + \frac{1}{L_m} t_{\text{тех}} + K_m t_{\text{гр}} \right), \quad 1.2.4$$

где  $U$  – работа региона или железной дороги, ваг./сут.

Анализ формул (4.61) и (4.62) позволяет сделать вывод, что с увеличением массы поезда растет потребный рабочий парк вагонов в связи с тем, что увеличивается время в движении, время простоя вагонов на технических станциях под накоплением, время расформирования и формирования поездов, а также время их технического обслуживания в приемоотправочных парках.

Однако в большинстве случаев экономический эффект, связанный с сокращением размеров движения поездов за счет увеличения их массы (сокращение расходов на парке локомотивов, топливе или электроэнергии, а также локомотивных бригадах и др.), превышает затраты, вызванные ростом парка вагонов. Это объясняется следующим:

скорость движения уменьшается в меньшей пропорции, чем возрастает масса поезда;

-рабочий парк вагонов, связанный со временем их движения, составляет всего примерно четверть общего парка вагонов;

-увеличение массы поездов приводит к сокращению размеров движения, уменьшению числа скрещений и обгонов поездов, что в определенной мере компенсирует влияние снижения ходовой скорости на уровень участковой;

-удельный вес прироста времени простоя под накоплением в общем времени простоя вагонов транзитных без переработки и с переработкой на технических станциях бывает сравнительно небольшим.

### 1.3. Зависимость показателей использования локомотивов от массы, длины и скорости движения поездов

Основными показателями использования локомотивов являются среднесуточный пробег, производительность и эксплуатируемый парк. Для заданной схемы участков обращения локомотивов и локомотивных бригад время, затрачиваемое на обслуживание одной пары поездов  $\theta_{л}$ , измеряемое в часах, определяется по формуле

$$\theta_{л} = \frac{2L_m}{V_y} + 2\sum t_{тех} + t_{ос} + t_{об}, \quad 1.3.1$$

где  $V_y$  – участковая скорость движения поездов на участке обращения локомотивов;  $t_{тех}$  – сумма времени стоянок поезда одного направления на технических станциях, расположенных внутри участка обращения локомотивов (в данном примере – это станции Б, В и Г);  $t_{ос}$  и  $t_{об}$  – время нахождения локомотива на станциях А основного и Д оборотного депо.

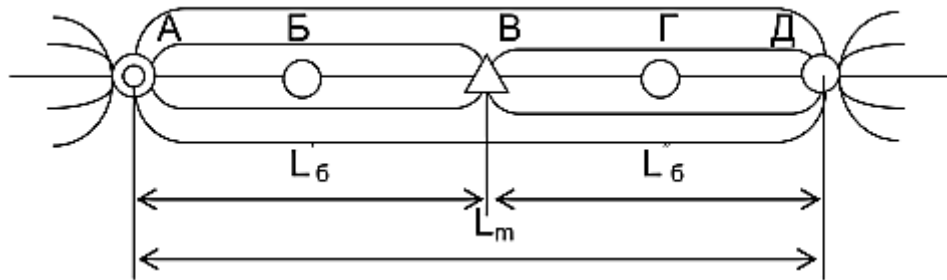


Рис 1.3.1 Схема участков обращения локомотивов и локомотивных бригад  
Среднесуточный пробег локомотива, км/сут, определяется как

$$S_{л} = \frac{2 L_m}{\theta_{л}} 24 = \frac{48 L_m}{\theta_{л}}, \quad 1.3.2$$

а эксплуатируемый парк локомотивов

$$M_{л} = \frac{\theta_{л}}{24} N_{гр} \alpha_{н} = K_{п} N_{гр} \alpha_{н}, \quad 1.3.3$$

Выразив размеры движения грузовых поездов через заданный грузооборот  $\Gamma_H$  и среднюю массу поезда  $Q_{бр}$  и подставив их в формулу (4.65), получим

$$M_{л} = \left( \frac{2L_m}{V_y} + 2\sum t_{тех} + t_{ос} + t_{об} \right) \alpha_H \cdot \Gamma_H / 365 \cdot 24 \cdot Q_{бр}^* \cdot \varphi, \quad 1.3.4$$

Из формулы (1.3.4) следует, что с увеличением скорости движения и средней массы грузовых поездов, эксплуатируемый парк локомотивов уменьшается.

Так как средняя масса поезда в значительной степени зависит не только от мощности локомотива, но и от длины приемоотправочных путей, то сокращение парка локомотивов также возможно за счет более эффективного использования протяженности станционных путей, в том числе и путей, имеющих длину более установленного стандарта.

Увеличение массы поезда при заданном типе локомотива на двухпутных линиях приводит к некоторому снижению уровня ходовой и участковой скоростей движения. Однако темп снижения скорости значительно ниже, чем темп прироста массы поезда, поэтому в конечном итоге эксплуатируемый парк локомотивов будет сокращаться. Степень влияния роста массы поезда на участковую скорость уменьшается также и потому, что при этом снижаются размеры движения поездов, а следовательно, число обгонов грузовых поездов пассажирскими, а на однопутных линиях – и число скрещений.

Таким образом, как на двухпутных, так и на однопутных линиях при заданном типе локомотива для сокращения парка эксплуатируемых локомотивов при наличии резерва силы тяги и длины станционных путей следует повышать массу поездов за счет соответствующего сокращения уровня скорости, а не наоборот.

#### 1.4. Влияние массы и скорости движения поездов на потребное количество локомотивных бригад

На участке обращения локомотивов (рис 1.3.1) может находиться один или несколько участков обращения локомотивных бригад. Потребное количество бригад для одного участка их обращения определяется по формуле

$$M_{л} = \left( \frac{2L_{м}}{V_{у}} + 2\sum t_{тех} + t_{ос} + t_{об} \right) \alpha_{н} \cdot \Gamma_{н} / 365 \cdot 24 \cdot Q_{бр}^* \cdot \varphi, \quad 1.4.1$$

где  $L_{б}$  – длина участка обращения бригад, км;

$\sum t_{тех}$  – сумма времени простоев поезда в одном направлении на попутных технических станциях, расположенных между станциями оборота бригады; 30,4 – среднее число дней в месяце;  $\alpha_{д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное количество бригад, для подмены находящихся в отпусках, а также больных, выполняющих общественные обязанности и др. В приближенных расчетах этот коэффициент может быть принят равным 1,13;  $T_{мес}$  – норма среднего числа рабочих часов одной бригады в течение месяца, ч (для каждого месяца рассчитывается отдельно в зависимости от числа рабочих, выходных и праздничных дней и продолжительности рабочей недели/

$t_{п}$  и  $t_{с}$  – соответственно среднее время работы локомотивной бригады при приеме и сдаче локомотива на конечных станциях участка обращения. (Если в пункте оборота бригада не отдыхает, то время работы исчисляется от времени ее прибытия с поездом одного направления до момента отправления в обратном направлении).

Общее потребное количество локомотивных бригад определяется как их сумма по всем участкам обращения бригад, входящих в участок обращения локомотивов.

Как следует из формул (1.3.1) и (1.3.2), характер зависимости количества локомотивных бригад от массы и скорости движения поездов аналогичен

зависимости эксплуатируемого парка локомотивов от тех же факторов и, следовательно, методы воздействия на число бригад посредством массы и скорости движения являются такими же, как и для локомотивов.

### **1.5. Зависимость расхода топлива или электроэнергии от массы и скорости движения поездов**

Расход дизельного топлива или электроэнергии на тягу поезда по участку зависит от величины механической работы, которую выполняет локомотив, преодолевая основное и дополнительное сопротивления движению от уклонов, кривых участков пути, стрелочных переводов на станционных путях и сил инерции массы поезда, противодействующих его ускорению.

Величина механической работы и, следовательно, расход топлива или электроэнергии определяется массой поезда, скоростью его движения, длиной участка и сложностью профиля пути.

В эксплуатационных условиях расход дизельного топлива или электроэнергии нормируется на измеритель перевозочной работы 10000 ткм брутто, что для конкретного участка и поезда может быть выражено формулой

$$A_T = \frac{G}{Q_{бр} \cdot L_m \cdot 10^4}, \quad 1.5.1$$

где  $A_T$  – удельный расход топлива на измеритель перевозочной работы;  $G$  – расход дизельного топлива (электроэнергии) на перемещение поезда по участку  $L_m$ , кг (кВт ч);  $Q_{бр}$  – масса поезда, т.

Разделив числитель и знаменатель в уравнении (4.68) на время хода поезда по участку, получим

$$A_T = \frac{g_T}{Q_{бр} \cdot V_x \cdot 10^4}, \quad 1.5.2$$

где  $g_t$  – расход топлива (электроэнергии) за 1 час движения поезда по участку;  $V_x$  – ходовая скорость движения поезда на участке.

Знаменатель формулы (1.5.2) представляет производительность локомотива за 1 час его движения по участку. Очевидно, что для снижения расхода топлива или электроэнергии необходимо повышать производительность локомотива. Но, как было доказано, это можно сделать для заданного типа локомотива увеличением массы поезда за счет соответствующего снижения скорости движения при прочих неизменных параметрах железнодорожного участка.

В тех же случаях, когда скорость движения на отдельных отрезках профиля ограничивается условиями состояния пути и, следовательно, не зависит от требований полного использования силы тяги локомотива, его производительность может быть увеличена устранением причин ограничения скорости. Последнее является важной мерой экономии, не только топливно-энергетических ресурсов, но также мерой сокращения расходов, связанных с содержанием локомотивов, локомотивных бригад и затрат, пропорциональных уровню механической работы сил торможения.

## **1.6. Зависимость провозной способности от массы и скорости движения поездов**

Провозная способность железнодорожной линии измеряется количеством тонн груза, которое может быть перевезено в одном или обоих направлениях движения за определенный период времени (сутки или год). Она является важнейшим параметром, характеризующим техническую оснащенность железнодорожной линии, и определяется как

$$\Gamma_{\text{сут}} = Q_{\text{бр}}^* \cdot \varphi \cdot n_{\text{гр}}^{\text{max}}, \quad 1.6.1$$

где  $Q_{бр}$  – средняя масса поезда брутто, т;  $\alpha$  – отношение средней массы поезда нетто к брутто;  $n_{гр}^{max}$  – максимальное число поездов, которое может быть пропущено в течение суток.

Максимальное количество поездов, пар поездов, по существу, является наличной пропускной способностью линии и может быть определено для однопутной линии по формуле

$$n_{гр}^{max} = \frac{24(1-\alpha)}{T_{пер}}, \quad 1.6.2$$

где  $\alpha$  – доля времени суток, снимаемая пропуском пассажирских поездов, предоставлением «окон» в графике и по другим причинам;  $T_{пер}$  – период графика, измеряемый в приведенной формуле в часах.

Если допустить, что средняя ходовая скорость на ограничивающем перегоне равна среднеходовой на участке, то пропускную способность можно выразить формулой

$$n_{гр}^{max} = 24(1-\alpha) j / \left( \frac{2l_{ср}}{V_x} + \Sigma\tau \right) = \frac{24(1-\alpha) j \cdot V_x}{2l_{ср} + V_x \cdot \Sigma\tau}, \quad 1.6.3$$

где  $l_{ср}$  – среднее расстояние между соседними отдельными пунктами, км;  $V_x$  – ходовая скорость грузовых поездов, км/ч;  $j$  – коэффициент неидентичности перегонов;  $\Sigma\tau$  – часть периода графика, приходящаяся на станционные интервалы, разгоны и замедления поезда, ч.

Как было показано произведение массы поезда на скорость, присутствующее в формуле (4.70), выражает производительность локомотива, и чем она больше, тем выше уровень провозной способности. В тех случаях, когда масса и скорость движения поезда взаимосвязаны через мощность локомотива, увеличивать его производительность можно только за счет увеличения массы поезда, но не скорости.

В случаях, когда такой зависимости нет, целесообразно увеличение обоих параметров. Например, когда скорость можно повысить за счет устранения

ограничений по состоянию пути, искусственных сооружений и т. п., а массу поезда – за счет улучшения использования длины станционных путей.

## ГЛАВА 2. ВЫБОР УЧАСТКОВОЙ И УНИФИЦИРОВАННО НОРМЫ МАССЫ И ДЛИНЫ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

### 2.1. Определение расчетной массы и длины поездов на участке

Анализ зависимостей показывает, что главные параметры грузовых поездов ограничиваются мощностью локомотива, характером профиля и плана пути, длиной станционных путей и структурой грузопотоков. Принятые по этим ограничениям нормы массы, длины и скорости оказывают решающее влияние на такие важные технологические показатели, как производительность локомотива, потребное количество локомотивов и бригад, расход топливно-энергетических ресурсов, оборот и рабочий парк вагонов, а в конечном итоге – на сроки доставки грузов и приведенные денежные расходы железных дорог.

Согласно инструкции по разработке графика движения поездов в АО «УТЙ», норма массы грузовых поездов определяется для каждого участка по мощности локомотива и величине расчетного уклона по «Правилам тяговых расчетов для поездной работы». Полученная масса согласуется с вместимостью приемоотправочных путей промежуточных станций. При этом для расчета массы поезда значение нагрузки на ось вагона согласно ПТЭ задается АО «УТЙ» в виде средней величины. Для груженых вагонов, как правило, она устанавливается на уровне 17,5 т/ось.

Такой способ решения задачи был бы достаточно точен, если бы все поезда на участке или железнодорожном направлении имели одинаковые среднеосевые или средние погонные нагрузки. В реальных условиях эксплуатации у разных поездов в зависимости от рода груза и типа вагонов нагрузка на ось находится в диапазоне от 6 до 23 т/ось, а в перспективе возрастет до 25 т/ось и более. С увеличением нагрузки на ось вагона основное удельное сопротивление движению уменьшается и, следовательно, у поездов, имеющих массу, установленную по средней нагрузке, но сформированных из «тяжелых» вагонов, локомотив будет

иметь резерв силы тяги. У поездов, сформированных из «легких» вагонов, но имеющих ту же массу, что и поезда со средним значением нагрузки на ось, сила тяги локомотива будет недостаточна, что приведет к перегрузке локомотива.

Очевидно, что если при проверке нормы массы поезда, определенной по средней нагрузке на ось, условие соответствия массы поезда длине приемоотправочных путей будет выполняться, то при всех других значениях нагрузки оно выдерживаться не будет. Ни в указанной инструкции, ни в ПТЭ возможность таких вариантов не рассматривается. Иначе говоря, в реальных условиях организации перевозок действующая на сети железных дорог методика нормирования массы поезда не обеспечивает полного использования длины станционных путей и силы тяги локомотива, а в ряде случаев допускает перегрузку локомотивов. Объясняется это тем, что она не учитывает фактическую структуру распределения поездопотоков по погонным или осевым нагрузкам на конкретных участках или направлениях. В связи с указанным, массу и длину поездов целесообразно рассчитывать не по средней, а по ограничительной (расчетной) осевой нагрузке. Ограничительной осевой нагрузкой следует считать такую, при которой масса поезда, определенная по силе тяги локомотива, равна массе поезда, установленной по длине станционных путей.

Величины расчетной массы поезда и ограничительной нагрузки определяются в результате графического или аналитического решения системы двух уравнений. Одно из которых характеризует зависимость массы поезда от длины станционных путей, величины погонной нагрузки или соответствующей нагрузки на ось вагона, а другое – от силы тяги локомотива, расчетного уклона и величины нагрузки на ось вагона.

Сущность этой методики легко уяснить на основе анализа, который представляет результат графического решения указанной системы уравнений. На нем линиями I и II изображена зависимость массы поезда от длины станционных путей для двух ее значений  $l_c$  и  $l_{lc}$ . Линией III показана зависимость массы поезда

$Q$  от силы тяги локомотива  $F_{кр}$ , основного удельного сопротивления  $\omega_0$  и, следовательно, от нагрузки на ось вагона  $q_0$ , а также расчетного уклона  $i_p$ . Линии I, II построены по точкам, полученным в результате подстановки в уравнение ряда значений погонных нагрузок (от  $P = 1,5$  до  $P = 7,0$  т/м), для принятых значений длины станционных путей. Линия III построена в результате подстановки в уравнение ряда значений осевых нагрузок от 6 до 25 т/ось при расчете основного удельного сопротивления. Она построена для принятой серии локомотива и величины расчетного подъема. При этом следует учитывать, что принятому к расчету ряду погонных нагрузок соответствует определенный ряд осевых нагрузок, поскольку погонная нагрузка определяется как отношение массы вагона брутто к длине вагона, а соответствующая ей осевая нагрузка – как отношение той же массы вагона к числу его осей. Так как с увеличением  $q_0$  основное удельное сопротивление вагонов снижается, то расчетная масса поезда растет. Характерной особенностью линии III является то, что любые значения массы поезда, лежащие на ней, обеспечиваются одинаковой силой тяги локомотива, при этом полное сопротивление движению у таких поездов также одинаково.

Точка 2 на линии III соответствует массе поезда  $Q_{л}$ , ограниченной силой тяги локомотива при среднем значении погонной нагрузки  $P$ , а точки 5 и 6 характеризуют уровни массы  $Q_c$ , ограниченные соответственно длинами путей  $l_c$  и  $l_{1c}$  при том же значении погонной нагрузки.

Важной особенностью точек 1 и 3 является то, что они разграничивают области формирования полносоставных и полновесных поездов.

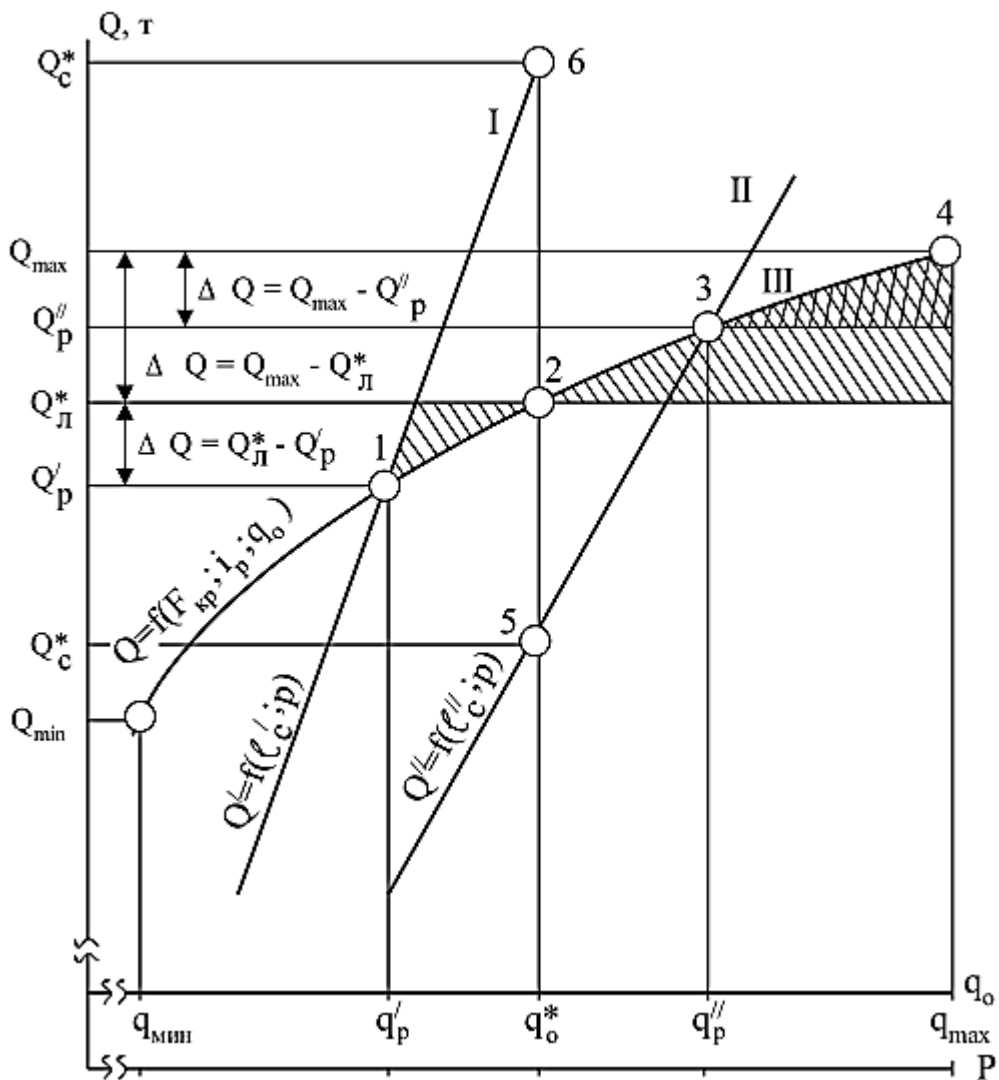


Рис. 2.1. Зависимость массы поезда от нагрузки на ось вагона (или погонной нагрузки), силы тяги локомотива и длины станционных путей

**Пример.** Масса поезда для электровоза ВЛ80 т при 32 , 16  $q_0$  т/ось;  $P_0 = 7,4$  т/м; 9  $p_i$  ‰;  $l_c = 1050$  м составляет 4685 т, а при  $q_{max} = 23$  т/ось – 4784 т, т. е. на 99 т больше. Полное сопротивление этих поездов на расчетном подъеме одинаково, так как оба значения массы лежат на одной линии зависимости  $Q = f(F_{кр}; i_p; q)$ , другими словами, соблюдается равенство

$$W = 4685(i_p + \omega_p'')g = 48916(i_p + \omega_{max}'')g,$$

основные удельные сопротивления для ограничительной и максимальной нагрузки на ось вагона

4685 (9 1,441) 9,81 4784 (9 1,221) 9,81 48916 9,81 479,9 кН.

При переходе поездов с расчетного подъема на более легкий, например, 3 ‰, это равенство нарушается. У первого поезда полное сопротивление движению составит

4685 (3 1,441) 9,81 204,1кН,

а у второго – более тяжелого –

4784 (3 1,225) 9,81 198,3кН.

Таблица 2.1

**Зависимость времени хода и расхода электроэнергии от массы поезда**

Номер варианта	Масса поезда, т	Нагрузка на ось вагона, т	Длина поезда в условных вагонах	Время хода, мин	Расход электроэнергии, кВт·ч
1	4616	13,40	86	110,3	7761
2	4685	16,32	72	109,2	7668
3	4708	17,50	67	109,2	7634
4	4784	23,00	52	108,7	7608
5	4685	23,00	51	107,6	7426

Из табл.2.1 следует, что более тяжелые поезда (по сравнению с нормой массы) будут иметь не только некоторые резервы по времени хода, но и меньший расход топлива или электроэнергии. Более заметна экономия времени и энергетических ресурсов у поездов по массе, равной установленной норме, но сформированных из вагонов с максимальной осевой или погонной нагрузкой. Разумеется, что в приведенном примере никаких перегрузок локомотивов не будет, так как все расчеты выполнены в пределах норм силы тяги, установленных тяговыми характеристиками локомотивов для принятых уровней массы поездов.

В случаях, когда значение ограничительной нагрузки лежит правее ее средней величины, вероятность чего очень высока, использование рассмотренной методики нормирования массы поезда позволит увеличить как среднюю массу поезда, так и ходовую скорость по сравнению с методикой нормирования массы по средней осевой (погонной) нагрузке.

В настоящее время имеется реальная возможность для использования этой методики нормирования массы поезда на полигонах большой протяженности, так как тяговые расчеты и построение графиков движения производится с помощью компьютеров в региональных вычислительных центрах. Наибольший экономический эффект может быть достигнут за счет увеличения массы и длины сквозных маршрутов с рудой, углем, наливными и другими маршрутизируемыми грузами.

Применение предлагаемой методики для нормирования массы поезда при составлении графика движения дает возможность повысить уровень использования силы тяги локомотивов и полезной длины станционных путей и сократить размеры движения поездов. Это в свою очередь позволит снизить расходы на перевозки, а в ряде случаев устранить перегрузки локомотивов при движении с поездами, имеющими осевые и погонные нагрузки ниже среднего уровня.

### ***Пример расчета массы и размеров движения поездов***

В целях сравнительной оценки действующей на сети железных дорог и предлагаемой методик определения массы грузовых поездов, рассчитаем массу, среднюю длину и размеры движения грузовых поездов.

Расчеты выполним для следующих исходных данных: используемый локомотив ВЛ80 с касательной расчетной силой тяги  $F_{кр} = 51200 \text{ тс} = 502,3 \text{ кН}$ ; масса локомотива  $M_{л} = 192 \text{ т}$ ; длина локомотива  $l_c = 33 \text{ м}$ ; расчетная скорость  $V_p = 43,5 \text{ км/ч}$ ; основное удельное сопротивление локомотива при расчетной скорости  $\omega_o = 2,72 \text{ Н/кН}$ , а вагонов –  $\omega_o'' = 1,31$ ; расчетный подъем  $i_p = 7 \text{ ‰}$ ; путь – бесстыковой; все вагоны с буксами на роликовых подшипниках; средняя длина вагона  $l_b = 15 \text{ м}$ ; средняя нагрузка на ось вагона  $q_o = 17,5 \text{ т}$ , а соответствующая ей средняя погонная нагрузка  $P^* = 4,67 \text{ т/м}$ ; длина станционных путей  $l_c = 1050 \text{ м}$ ;

суточный вагонопоток в грузеном направлении  $n_0 = 3000$  ваг.; распределение вагонопотока в поездах с различными погонными нагрузками характеризуется гистограммой. В первом варианте расчеты выполнены по общепринятой на сети дорог методике, а во втором – по предлагаемой.

Согласно ПТЭ масса поезда, зависящая от силы тяги локомотива и определяемая по формуле, составит:

$$Q_{бр}^л = \frac{F_{кр} - M_{л} (\omega_0' + i_p) g}{(\omega_0'' + i_p) g} = \frac{502300 - 192 (2,72 + 7) 9,81}{(1,31 + 7) 9,81} = 5937 \text{ т,}$$

а в зависимости от длины станционных путей

$$Q_{бр}^с = P (\ell_c - n\ell_{л} - 10) = 4,67 (1050 - 33 - 10) = 4703 \text{ т.}$$

Как предусмотрено правилами тяговых расчетов для поездной работы в результате проверки массы поезда по длине приемоотправочных путей в последующих расчетах должно быть принято меньшее из значений, т. е.  $Q_{бр}^с = 4703$  т.

Поскольку в этом варианте расчета масса поезда ограничена длиной станционных путей при погонной нагрузке 4,67 т, то согласно гистограмме все поезда с нагрузками от 2 до 4,67 т/м будут полносоставными, а с нагрузками от 4,67 до 7,0 т/м – полновесными. На гистограмме так же видно, что из 21,5 % вагонопотока с нагрузками от 4,25 до 4,75 т/м примерно 6/7 включаются в полносоставные поезда, а 1/7 – в полновесные, или соответственно 18,4 и 3,1 %. Тогда суммарная доля общего вагонопотока, включаемого в полносоставные поезда, составит

$\sum a_{пс} = 49,3$  %, а в полновесные поезда –  $\sum a_{пв} = 50,7$  %. Согласно формулам, количество полносоставных и полновесных поездов<sup>2</sup> для принятого вагонопотока составит

$$N_{\text{пс}} = \frac{n_0 \cdot \sum \alpha_{\text{пс}} \cdot \ell_{\text{в}}}{(\ell_{\text{с}} - n \ell_{\text{л}} - 10) 100} =$$

$$= \frac{3000 (0,5 + 1,4 + 4,6 + 7,8 + 16,6 + 18,4) 15}{(1050 - 33 - 10) 100} = 22,0;$$

$$N_{\text{пв}} = \frac{n_0 \cdot \sum \alpha_{\text{пв}} \cdot P \cdot \ell_{\text{в}}}{Q_{\text{н}} \cdot 100} =$$

$$= \frac{3000 (3,1 \cdot 4,5 + 22 \cdot 5 + 15,4 \cdot 5,5 + 6,7 \cdot 6 + 2,3 \cdot 6,5 + 1,2 \cdot 7) 15}{4703 \cdot 100} = 26,0.$$

Общее количество поездов в этом варианте расчета

$$N = N_{\text{пс}} + N_{\text{пв}} = 22,0 + 26,0 = 48.$$

Наибольшая длина поездов, измеряемая в физических вагонах, составит

$$m = \frac{\ell_{\text{с}} - n \ell_{\text{л}} - 10}{\ell_{\text{в}}} = \frac{1050 - 33 - 10}{15} = 67, \text{ а средний состав поезда в физических}$$

$$\text{вагонах } n_{\text{с}} = \frac{n_0}{N} = \frac{3000}{48} = 62,5 \text{ ваг.}$$

## **Вариант 2**

Для расчета массы поезда по предлагаемой методике прежде всего определим по формуле ограничительную погонную нагрузку:

$$P_0 = \frac{F_{\text{кр}} - M_{\text{л}} (\omega_0' + i_p) g}{(a + i_p) (\ell_{\text{с}} - n \ell_{\text{л}} - 10) g} - \frac{(b + cV + dV^2) k_0}{\ell_{\text{в}} (a + i_p)} =$$

$$= \frac{502300 - 192 (2,72 + 7) 9,81}{(0,7 + 7) (1050 - 33 - 10) 9,81} - \frac{(3 + 0,09 \cdot 43,5 + 0,002 \cdot 43,5^2) 4}{15 (0,7 + 7)} = 5,99 \text{ т/м.}$$

Расчетная масса поезда, удовлетворяющая как силе тяги локомотива, так и длине станционных путей, в этом случае составит

$$Q = P_0 (\ell_{\text{с}} - n \ell_{\text{л}} - 10) = 5,99 (1050 - 33 - 10) = 6032 \text{ т.}$$

Из гистограммы следует, что в поездах с погонными нагрузками в группировке от 5,75 до 6,25 т следует 6,7 % вагонопотока. Поскольку ограничительная погонная нагрузка, составляющая около 6,0 т/м, оказалась в середине этой группировки, то можно считать, что первая половина вагонопотока этой группировки, т. е. 3,35 % проследует в полносоставных поездах, а вторая – в полновесных. В результате из заданных 3000 вагонов в полносоставных поездах проследуют

$$\Sigma \alpha_{\text{пс}} = 0,5 + 1,4 + 4,6 + 7,8 + 16,6 + 21,5 + 22,0 + 15,4 + 3,35 = 93,15 \% \text{ ваг.},$$

а в полновесных –  $\Sigma \alpha_{\text{пв}} = 3,35 + 2,31 + 1,2 = 6,85\% \text{ ваг.}$

Количество полносоставных поездов в этом варианте расчета составит:

$$N_{\text{пс}} = \frac{3000 \cdot 93,15 \cdot 15}{(1050 - 33 - 10) 100} = 41,6,$$

а количество полновесных –

$$N_{\text{пв}} = \frac{3000 (3,35 \cdot 6 + 2,3 \cdot 6,5 + 1,2 \cdot 7) 15}{6032 \cdot 100} = 3,24.$$

Общее количество поездов составит

$$N = 41,6 + 3,24 = 44,84 \approx 45,$$

а средний состав поезда

$$m_c = \frac{3000}{44,84} = 66,9 \text{ ваг.}$$

Таким образом, во втором варианте расчета размеры движения сократились на 3 поезда в сутки или более чем на 1000 поездов за год. Естественно, что для иной гистограммы распределения вагонопотоков и других значений расчетных подъемов разница в размерах движения может измениться в большую или меньшую сторону.

## 2.2. Общие принципы организации подталкивания

Важнейшей мерой обеспечения высокого уровня унифицированных норм массы грузовых поездов является организация их подталкивания на расчетных и трудных подъемах. История развития железных дорог Республики свидетельствует, что во все периоды роста объемов перевозок подталкивание поездов использовалось как эффективный способ повышения массы поездов, способствующий снижению уровня эксплуатационных расходов и увеличению провозной способности железнодорожных линий. В этих же целях подталкивание поездов применяется в странах Европы, Азии и Америки.

Подталкивание позволяет изменять величину мощности локомотивов, приходящуюся на одну тонну массы поезда (т. е. удельную мощность), в зависимости от сложности профиля пути. В результате этого удается избежать не только переломов массы поезда по техническим станциям, но также повысить эффективность использования силы тяги головного локомотива на всем протяжении железнодорожного направления. Некоторое недоиспользование мощности локомотивов происходит только на длине пути подталкивания, которая составляет незначительную часть по сравнению с длиной железнодорожного направления, где установлена унифицированная норма массы.

Технико-экономический эффект от применения подталкивания на конкретном трудном подъеме зависит от того, насколько правильно решены задачи:

- выбора типа и серии подталкивающего локомотива;
- выбора пунктов начала подталкивания, мест технического обслуживания и экипировки локомотивов-толкачей, а также места жительства локомотивных бригад;
- установления эффективной схемы работы толкачей, обеспечивающей безопасность движения, необходимый уровень пропускной способности,

минимальные пробеги и, следовательно, наименьшее их количество в пункте подталкивания.

В зависимости от места расположения трудного подъема (в первой или второй половине перегона) возможны два принципиально различных способа организации работы толкачей:

-подталкивание поезда только на части перегона с отцепкой локомотива, как правило, на ходу и с возвращением его в пункт подталкивания по тому же пути;

-подталкивание поезда с проходом толкача до соседней станции, а затем его возвращение в пункт подталкивания. В ряде случаев возможно проследование толкача с поездом двух и более перегонов.

От массы и длины поезда, а также от условий профиля пути зависит решение вопроса о необходимости подключения воздушной тормозной магистрали толкача к тормозной магистрали хвостового вагона, что существенно сказывается на времени задержки поездов.

Работа подталкивающих локомотивов оказывает влияние на условия пропуска поездов и пропускную способность перегона, на котором осуществляется подталкивание, что требует дифференцированного подхода к решению этой задачи на однопутных и двухпутных линиях. Особо следует подчеркнуть, что подталкивания требуют не все поезда, а только та их часть, которая сформирована из вагонопотока, имеющего погонную нагрузку, равную или большую ограничительной, т. е. поезда с тяжелыми массовыми грузами. На многих железнодорожных направлениях их может быть меньше половины от общего суточного поездопотока. Остальные же поезда будут полносоставными, но имеющими массу меньше установленной нормы. В технической литературе этот фактор зачастую не принимается во внимание, хотя он оказывает исключительно большое влияние на принимаемые решения.

### 2.3. Выбор типа и серии подталкивающего локомотива

Использование локомотива определенной серии в качестве подталкивающего должно обеспечивать:

- увеличение нормы массы на рассматриваемом тяговом участке до уровня унифицированной нормы, установленной на железнодорожном направлении;

- наименьшие приведенные расходы (по сравнению с другими сериями локомотивов) на оборудование пункта подталкивания и его содержание, приобретение и эксплуатацию подталкивающих локомотивов, а также расходы, связанные с задержками поездов при подталкивании;

- необходимый уровень пропускной способности;

- безопасность движения на участке подталкивания.

На выбор серии подталкивающего локомотива оказывают влияние вид тяги на рассматриваемом участке; разница между уровнями унифицированной и участковой норм массы; профиль пути; уровень пропускной способности участка; наличие материальной базы технического обслуживания, ремонта толкачей в ближайшем локомотивном депо и другие местные условия.

На электрифицированных линиях в качестве подталкивающих локомотивов целесообразно использовать преимущественно электровозы, поскольку расходы на их содержание меньше, чем у тепловозов (при близких значениях их мощности). Исключением являются случаи, когда в качестве толкача может быть использован маневровый тепловоз станции, недостаточно загруженный в течение суток основной работой.

На линиях с тепловозной тягой для подталкивания поездов могут быть использованы как поездные тепловозы, так и маневровые.

В качестве подталкивающих локомотивов может использоваться одна из секций двухсекционного локомотива. Это позволяет сократить приведенные расходы на их содержание, но создает определенные неудобства при возвращении такого локомотива, так как он будет иметь только одну кабину управления.

С позиции обеспечения безопасности движения лучшим для подталкивания является локомотив с двумя кабинами управления, особенно при больших пробегах одиночного локомотива в пункт подталкивания. Вопрос о целесообразности управления подталкивающим локомотивом одним лицом или в составе бригады из двух человек в каждом конкретном случае решается с учетом местных условий и в частности – с учетом необходимости соединения тормозной магистрали подталкивающего локомотива и поезда, сложности профиля пути, интенсивности движения поездов на участке и др.

Локомотивы-толкачи оборудуются пневматическим приводом расединения автосцепки из кабины управления и радиостанциями (локомотивной и переносной) для связи с поездным диспетчером, дежурными по станциям и машинистом головного локомотива.

Сила тяги толкача должна быть достаточной для перемещения дополнительной массы поезда на расчетном или трудном подъеме с расчетной скоростью, установленной для головного локомотива.

Первое слагаемое этого неравенства представляет собой полное сопротивление движению дополнительной массы вагонов, а второе – полное сопротивление движению локомотива-толкача.

Расчетная масса толкача для использования в формуле определяется из условия, что масса толкача, приходящаяся на одну тонну дополнительной массы поезда, должна быть не менее отношения массы головного локомотива к участковой норме массы поезда, т. е.

$$\frac{M_T}{\Delta Q} \geq \frac{M_L}{Q_y},$$

отсюда

$$M_T \geq \frac{\Delta Q \cdot M_L}{Q_y}. \quad 2.4.1$$

На основе полученного значения расчетной массы толкача выбирается локомотив, имеющий массу, равную или несколько большую, чем полученная по формуле (2.4.1.). Фактическая масса этого локомотива подставляется в выражение (5.13) для расчета потребной силы тяги толкача.

Потребную силу тяги толкача с достаточной для практических целей точностью можно найти также из предпосылки, что удельная сила тяги толкача должна быть не меньше удельной силы тяги головного локомотива на расчетном подъеме с поездом, соответствующим участковой норме массы, т. е.

$$\frac{F_k^T}{\Delta Q} \geq \frac{F_{кр}}{Q_y},$$

отсюда

$$F_k^T \geq \frac{F_{кр} \cdot \Delta Q}{Q_y}, \quad 2.4.2$$

где  $F_{кр}$  – сила тяги головного локомотива при расчетной скорости, кН.

Локомотив может быть использован в качестве толкача:

1) если его сила тяги при скорости, равной расчетной скорости головного локомотива, будет равна или несколько больше найденной по формулам (2.4.1) или (2.4.2);

2) по другим эксплуатационным параметрам он отвечает требованиям, предъявляемым к толкачу (наличие в депо ремонтной базы для этой серии локомотивов, оснащение пневмоприводом для рассоединения авто сцепки из кабины машиниста, наличие радиостанций и т. д.).

Если этим условиям удовлетворяют два или более локомотива, то окончательное решение по выбору одного из них принимается после их технико-экономического сравнения с учетом наличия ремонтной базы, квалифицированных специалистов и др.

## **ГЛАВА 3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ УНИФИЦИРОВАННОЙ НОРМЫ МАССЫ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ**

### **3.1 Общие положения и принципы оценки вариантов унифицированной нормы массы поездов**

Изменение нормы массы грузовых поездов при заданном типе локомотивов оказывает двойное влияние на зависящие эксплуатационные параметры. С увеличением нормы массы поезда уменьшаются размеры движения поездов и, как следствие, потребное количество локомотивов, локомотивных бригад, расходы топлива или электроэнергии, а также количество остановок грузовых поездов для скрещений и обгонов (в части, зависящей от размеров движения). Все эти факторы ведут к положительному экономическому эффекту.

Отрицательный эффект заключается в том, что в результате снижения ходовой скорости увеличивается время оборота вагонов, локомотивов и локомотивных бригад, растет время простоя вагонов под накоплением на поезда, дискретно возрастают расходы, связанные с открытием и эксплуатацией пунктов подталкивания.

Сложная взаимосвязь между массой и скоростью движения и не менее сложное их совместное влияние на зависящие от них параметры (измерители) эксплуатационной работы требуют взвешенной технико-экономической оценки возможных вариантов норм массы, длины и скоростей движения грузовых поездов.

Все варианты унифицированной нормы массы грузовых поездов, установленные на основе тонно-километровой диаграммы для железнодорожного направления и подлежащие технико-экономическому сравнению, должны обеспечивать выполнение заданных объемов перевозок с учетом имеющихся ограничений по натурным показателям и стоимости.

Поскольку ставится задача выбора лучшего варианта, то нет необходимости рассчитывать полный объем расходов, связанных с перевозкой, а достаточно определить величину только тех, которые изменяются в зависимости от массы поезда, т. е. расходов, связанных только с работой подвижного состава.

Так как объем перевозок во всех вариантах одинаков, то одинаковыми будут вагоно-километры пробега вагонов на железнодорожном направлении и тонно-километры брутто перевозочной работы вагонов. Однако разными будут тонно-километры перевозочной работы, учитывающие пробеги не только вагонов, но и локомотивов. Равными можно считать также и расходы, связанные с техническим обслуживанием поездов на технических станциях, потому что при разном количестве поездов вагонопотоки по станциям остаются одинаковыми. Различаются варианты уровнями массы, длины, скорости движения, количеством поездов и следующими показателями:

- вагоно-часами в движении по участкам направления;
- вагоно-часами накопления вагонов на поезда;
- локомотиво-километрами пробега локомотивов;
- локомотиво-часами в движении по участкам направления и в пунктах оборота;
- бригадо-часами локомотивных бригад и потребным их количеством;
- расходом топлива или электроэнергии на тягу поездов;
- величиной механической работы локомотивов;
- величиной механической работы сил сопротивления;
- тонно-километрами брутто перевозочной работы вагонов и локомотивов;
- количеством остановок грузовых поездов при обгонах и скрещении;
- потребными парками вагонов, локомотивов и количеством локомотивных бригад;
- затратами, связанными с организацией подталкивания поездов.

Каждому из перечисленных эксплуатационных показателей, характеризующих альтернативные варианты нормы массы, соответствуют

определенные денежные затраты. При этом расходы на потребные парки вагонов, локомотивов и оборудование пунктов подталкивания относятся к единовременным затратам или капиталовложениям, а все остальные – к текущим или эксплуатационным расходам.

Экономическую оценку альтернативных вариантов унифицированной нормы массы в этом случае целесообразно производить на основе сопоставления приведенных расходов, определяемых как сумма эксплуатационных затрат и капиталовложений, приведенных к ним через коэффициент эффективности. Для железнодорожного направления величина этих расходов определяется как сумма затрат по всем участкам обращения локомотивов на направлении.

Для решения поставленной задачи следует использовать так называемую проектную систему расчета эксплуатационных расходов, которая часто применяется проектными и научно-исследовательскими организациями при технико-экономических расчетах. Сущность этой системы заключается в том, что разнообразные текущие расходы, непосредственно связанные с работой подвижного состава, относят на соответствующие измерители (показатели) эксплуатационной работы.

В проектной системе определения эксплуатационных расходов на заданный объем перевозок используются три группы измерителей: энергетические, пробегные и временные. Они позволяют достаточно полно учесть влияние на величину расходов параметров плана и профиля пути, типов и условий эксплуатации локомотивов и вагонов, массы поездов объема выполняемой работы и др.

К энергетическим измерителям отнесены: расход дизельного топлива или электроэнергии, механическая работа локомотива, механическая работа сил сопротивления. К пробегным измерителям относятся: локомотиво-километры, вагоно-километры, тонно-километры брутто. К временным измерителям: локомотиво-часы, вагоно-часы, бригадо-часы локомотивных бригад.

Измерители «механическая работа локомотива» и «механическая работа сил сопротивления» характеризуют влияние сложности плана и профиля пути на расходы по ремонту подвижного состава, текущему содержанию и ремонту верхнего строения пути. Эти измерители позволяют учитывать также влияние массы и скорости движения на расходы топлива или электроэнергии – на тягу поездов.

В табл. 6.1 приведена структура проектной системы распределения эксплуатационных расходов по измерителями.

Таблица 3.1

**Проектная система распределения эксплуатационных расходов по измерителям**

Вид расходов	Измеритель
1. Ремонт локомотивов: а) дизеля, генератора, тяговых электродвигателей, топливной системы, компрессора, системы охлаждения, вентилятора, электроаппаратуры, расходы по смазке дизеля; б) ходовых частей (с учетом смазки);  в) рамы, ударно-тяговых приборов, тележки и других узлов; г) кузова, воздухопровода песочницы, части аппаратуры, окраска; д) топливо (электроэнергия) и расходы на экипировку локомотивов, пропорциональные расходу топлива на служебные нужды	Мегаджоули или тонно-километры механической работы локомотива Мегаджоули или тонно-километры механической работы сил сопротивления Локомотиво-километры  Локомотиво-часы  Локомотиво-часы
2. Реновация локомотивов	Локомотиво-часы
3. Ремонт вагонов – заводской, деповской, текущий и технический осмотр: а) ходовых частей, тормозной системы;  б) рамы, ударных приборов, тележки;  в) кузова, воздухопровода, окраска вагонов	Мегаджоули или тонно-километры механической работы сил сопротивления Вагоно-осе-километры Вагоно-осе-часы
4. Реновация вагона	Вагоно-осе-часы
5. Текущее содержание, ремонт и амортизация верхнего строения пути: а) амортизация рельсов и часть (15 %) расходов по текущему содержанию верхнего строения пути;  б) амортизация балласта, шпал и часть (85 %) расходов по текущему содержанию верхнего строения пути	Мегаджоули или тонно-километры механической работы сил сопротивления Тонно-километры брутто вагонов и локомотивов
6. Содержание локомотивных бригад	Бригадо-часы

Вид расходов	Измеритель
7. Часть расходов на содержание и амортизацию контактной сети	Локомотиво-километры электровозов
8. Топливо или электроэнергия на тягу поездов	Расход дизельного топлива, электроэнергии, определяемый тяговыми расчетами на заданный объем перевозок

Величину расходов, измеряемую в рублях и приходящуюся на измеритель эксплуатационной работы, называют расходной ставкой, например, расходы в рублях, приходящиеся на один локомотиво-километр пробега локомотивов.

Величина расходной ставки зависит от перечня затрат, которые отнесены на конкретный измеритель. Этот перечень может изменяться в зависимости от целей и методики технико-экономических расчетов. Так, например, стоимость вагоно-часа в одних случаях может исчисляться с учетом стоимости груза, а в других – без него.

При известных расходных ставках и величинах измерителей эксплуатационной работы общая сумма эксплуатационных расходов для каждого из вариантов определяется как сумма произведений величины показателей на соответствующую расходную ставку. Расходные ставки рассчитываются на основе отчетных данных о выполненных объемах работы, достигнутых показателях использования подвижного состава и фактических расходах денежных средств в соответствии с принятой номенклатурой расходов железных дорог. Для перспективных технико-экономических расчетов полученные расходные ставки корректируются с учетом прогнозируемого изменения различных затрат (например, новых цен на подвижной состав, топливо, электроэнергию, материалы и оборудование, оплату труда и т. п.).

Расходные ставки могут рассчитываться как для среднесетевых условий организации перевозочного процесса, так и для отдельных участков, железных дорог и железнодорожных направлений. Такие расчеты обычно выполняются

проектными и научно-исследовательскими организациями и публикуются в соответствующих изданиях.

Следует отметить, что на железных дорогах сети используется также калькуляционная система расчета эксплуатационных расходов, предназначенная для расчета себестоимости перевозок, анализа эксплуатационной деятельности железных дорог и их подразделений, оперативного планирования и выбора организационно-технических мероприятий. В отличие от проектной системы в ней используется меньше измерителей, по которым распределяются общие эксплуатационные расходы. Полученные в результате этого укрупненные расходные ставки не всегда позволяют учесть особенности проектных вариантов организации перевозок.

Если в решении задачи выбора наивыгоднейшей унифицированной нормы массы используются расходные ставки, установленные для среднесетевых условий, то они корректируются с помощью соответствующих коэффициентов применительно к условиям работы рассматриваемого железнодорожного направления, на котором уровни цен на топливо, электроэнергию, расходы на заработную плату могут значительно отличаться от среднесетевых. В основу расчета расходных ставок закладываются данные бухгалтерской и статистической отчетности: БО-11, БО-19, ЦО-1, ЦО-2, ЦО-4, ЦО-5, ЦО-12, ЦО-22, ЦО-25, ЦО-27, ГО-10, ТХО-2, ТТО-5.

В случаях, когда варианты организации перевозок оцениваются в приведенных расходах, то расходные ставки могут учитывать не только эксплуатационные затраты, но и приведенные к ним через коэффициент эффективности капиталовложения. Тогда приведенные расходы определяются по формуле

$$З = E + K\Delta, \quad 3.1$$

где  $E$  – годовые эксплуатационные расходы;  $K$  – единовременные расходы,  $\Delta$  – коэффициент эффективности капиталовложений.

Коэффициент эффективности определяется через срок окупаемости капиталовложений

$$\Delta = \frac{1}{T_{ок}}$$

Величина срока окупаемости для разных устройств и сооружений железнодорожного транспорта устанавливается в зависимости от срока службы и стоимости.

Для решения рассматриваемой задачи величина коэффициента эффективности может быть принята равной 0,15, что соответствует сроку окупаемости в среднем 6–7 лет.

Как следует из табл. 3.1, в проектной системе выделяются 8 расходных ставок на следующие измерители:

- тонно-километры механической работы локомотива;
- тонно-километры механической работы сил сопротивления;
- локомотиво-километры;
- локомотиво-часы;
- вагоно-осе-километры;
- вагоно-осе-часы;
- бригадо-часы локомотивных бригад;
- тонно-километры брутто перевозочной работы.

Денежные затраты, связанные с расходом дизельного топлива или электроэнергии на тягу поездов, определяются отдельно на заданный объем работы с учетом массы и скоростей движения грузовых поездов на основе тяговых расчетов.

### 3.2. Приведенные расходы, приходящиеся на 1 вагоно-час простоя вагона

Приведенные расходы, приходящиеся на 1 ч времени простоя вагона, складываются из следующих составляющих:

а) эксплуатационных расходов, связанных с ремонтом вагонов в части, зависящей только от времени, р./ваг.-ч:

$$e_p^B = e_B \cdot K_0,$$

где  $e_B$  – расходы, отнесенные на один осе-час вагона, р.;  $K_0$  – количество осей у одного вагона.

Если на направлении обращаются четырех-, шести- и восьмиосные вагоны, то  $K_0$  определяется как средняя величина для парка вагонов на направлении;

б) реновационных отчислений от стоимости вагона, приходящихся на один вагоно-час, р./вагоно-ч:

$$e_{рн} = \frac{C_B \cdot \alpha_{рн}^B (1 + \alpha_{рем})}{8760},$$

где  $C_B$  – стоимость вагона, р.;  $\alpha_{рн}^B$  – реновационная норма отчислений для вагонного парка измеряется в долях от стоимости вагона, приходящейся на 1 год его службы;  $\alpha_{рем}$  – коэффициент, учитывающий долю вагонов (по отношению к рабочему парку), находящихся во всех плановых видах ремонта; 8760 – количество часов в году;

в) приведенных к эксплуатационным единовременных расходов на приобретение вагона с учетом количества вагонов, находящихся в плановых видах ремонта, р./ваг.-ч:

$$e_{п}^B = \frac{C_B (1 + \alpha_{рем}) \Delta}{8760},$$

где  $\alpha$  – коэффициент относительной эффективности капиталовложений;

г) реновационных отчислений от пропорциональной вагонному парку стоимости устройств вагонного хозяйства, р./вагоно-ч:

$$e_x = \frac{C_B (1 + \alpha_{\text{рем}}) \alpha_{\text{рн}}^x \cdot \alpha_x}{8760},$$

где  $\alpha_{\text{рн}}^x$  – реновационная норма для вагонного хозяйства с учетом срока службы станочного оборудования,  $\alpha_{\text{рн}}^x = 0,04$ ;  $\alpha_x$  – доля стоимости устройств вагонного хозяйства по отношению к стоимости вагона,  $\alpha_x = 0,1$ ;

д) приведенной к текущим расходам доли стоимости устройств вагонного хозяйства, пропорциональной вагонному парку, р./ваг.-ч:

$$e_{\text{п}}^x = \frac{C_B (1 + \alpha_{\text{рем}}) \alpha_x \cdot \Delta}{8760};$$

е) приведенной к текущим расходам стоимости груза в вагоне, р./ваг.-ч:

$$e_{\text{г}} = \frac{C_{\text{г}} \cdot q_{\text{г}} \cdot \Delta}{8760},$$

Суммарные приведенные единовременные и эксплуатационные расходы, приходящиеся на 1 вагоно-час составляют, р./ваг.-ч:

$$C_{\text{в-ч}} = e_{\text{р}}^{\text{в}} + e_{\text{рн}} + e_{\text{п}}^{\text{в}} + e_x + e_{\text{п}}^x + e_{\text{г}}.$$

Величина  $C_{\text{ч-в}}$  не зависит от того, где затрачиваются вагоно-часы: под накоплением, в движении в поездах, в процессе формирования-расформирования и т. п.

### **3.3. Приведенные расходы, приходящиеся на 1 локомотиво-час работы поездного локомотива**

Приведенные расходы, приходящиеся на 1 локомотиво-час складываются из следующих составляющих:

а) затрат на ремонт локомотива, зависящих от времени, р./лок.-ч:

$$e_p^l = e_l \cdot \alpha_l,$$

где  $e_l$  – доля расходов на ремонт локомотива, зависящая только от времени, отнесенная на 1 лок.-ч;  $\alpha_l$  – коэффициент, учитывающий время нахождения локомотива в операциях технического обслуживания кроме ТО-1), во всех видах ремонта и другие простои, не входящие во время полного оборота локомотива ( $\alpha_l > 1$ );

б) реновационных отчислений от стоимости локомотива, р./локомотиво-ч:

$$e_{рн}^l = \frac{C_l \cdot \alpha_{рн}^в \cdot \alpha_l}{8760},$$

в) затрат на топливо (электроэнергию) и затрат на экипировку локомотивов, пропорциональных расходу топлива (электроэнергии) на его служебные нужды, р./лок.-ч:

$$e_{тэ} = e_t \cdot e_{эк},$$

г) приведенных к текущим расходам единовременных затрат на локомотив, р./лок.-ч:

$$e_{п}^l = \frac{C_l \cdot \alpha_l \cdot \Delta}{8760},$$

Суммарные приведенные единовременные и эксплуатационные расходы, приходящиеся на 1 локомотиво-час, составляют, р./лок.-ч:

$$C_{л-ч} = e_p^l + e_{рн}^l + e_{тэ} + e_{п}^l.$$

Величина  $C_{л-ч}$  позволяет определить затраты, связанные с локомотиво-часами, как в движении, так и на стоянках.

В ряде случаев для упрощения расчета эксплуатационных затрат в стоимость локомотиво-часа включают также расходы, приходящиеся на один бригадо-час локомотивных бригад.

### **3.4. Расходы, приходящиеся на измеритель тонно-километры брутто перевозочной работы**

В качестве измерителя объема перевозочной работы в проектной системе принимается один миллион тонно-километров брутто ( $1 \cdot 10^6$  ткм брутто). Расходы, отнесенные на этот измеритель, обозначаются как  $C_{\text{ткм-бр}}$ , р./ $10^6$  ткм брутто. Сюда относят затраты на амортизацию балласта и шпал, а также часть (85 %) расходов по текущему содержанию верхнего строения пути. Остальные расходы по текущему содержанию верхнего строения пути, его ремонту и амортизации относят на механическую работу сил сопротивления.

### **3.5. Определение суммарных приведенных расходов для альтернативных вариантов норм массы поездов**

Сопоставление всех возможных вариантов массы поездов производится для заданного объема перевозок грузов. Для перспективных расчетов объемы перевозок задаются по родам грузов в миллионах тонн в год в каждом из направлений движения, а затем рассчитываются в вагонах за сутки с учетом рода груза, типа используемых вагонов и коэффициентов использования грузоподъемности.

Если же решается вопрос о выборе норм массы поезда для графика движения, разрабатываемого на предстоящий год (или ближайшие годы), то объемы перевозок могут задаваться в вагонах.

При этом величина вагонопотоков по направлениям движения устанавливается на основе отчетных данных о выполненных объемах перевозок за предыдущий год с их корректировкой на ближайшую перспективу. В этом случае учитывается темп изменения перевозок в предыдущие годы и ожидаемое развитие экономики региона в предстоящий период.

На основе данных о груженных вагонопотоках по роду подвижного состава рассчитываются избытки или недостатки порожних вагонов по всем станциям и участкам, после чего строятся диаграммы груженных и порожних вагонов в обоих направлениях движения.

Для планового объема перевозок, измеряемого в вагонах, строятся гистограммы распределения вагонопотоков по погонным нагрузкам. При этом для каждого из направлений движения наряду с груженными вагонопотоками учитываются и порожние. На основе гистограмм определяется отдельно количество полносоставных и полновесных поездов. Средний состав поезда рассчитывается как отношение суточного вагонопотока к суммарному количеству полносоставных и полновесных поездов. При достаточных резервах пропускной способности (заполнение до 65–70 %) размеры движения поездов в порожнем направлении (или направлении с более легким профилем пути) принимаются такими же, как и в грузовом направлении. Это позволяет сократить резервный пробег локомотивов, снизить простои поездов под накоплением в порожнем направлении (за счет уменьшения составов поездов), уменьшить время технического обслуживания поездов работниками ПТО, а также увеличить ходовую скорость.

Затем выполняются тяговые расчеты для намеченных норм массы поездов в каждом из направлений, целью которых является определение перегонных времен хода поездов, расхода топлива или электроэнергии и величины механической работы, выполняемой локомотивом.

При использовании компьютерной программы «ИСКРА» для расчета указанных параметров затрачивается 3–5 мин времени работы персонального компьютера на участок длиной 100 км.

Устанавливаются и оптимизируются все нормативы времени для построения графика движения поездов, т. е. станционные и межпоездные интервалы, время стоянки поездов на технических и промежуточных станциях, нормы нахождения локомотивов в пунктах оборота и др. Рассчитываются на ЭВМ

и строятся с помощью плоттера (принтера) компьютерные графики движения поездов, по которым определяются поездо-часы и локомотиво-часы нахождения поездов на участках, количество остановок на промежуточных станциях и другие данные для экономической оценки варианта.

Выполнение тяговых расчетов и построение графиков движения для альтернативных вариантов норм массы поездов позволяет учесть с достаточно высокой точностью как взаимосвязь между массой, длиной и скоростью движения поездов, так и их зависимость от разнообразных существенных технических и технологических параметров железнодорожной линии.

В общем виде приведенные суммарные суточные расходы, р./сут, для одного из вариантов норм массы, длины и скорости движения грузовых поездов в обоих направлениях движения составляют

$$E_c = \sum nt \cdot C_{в-ч} + \sum Mt \cdot C_{л-ч} + \sum nS \cdot C_{в-км} + \\ + \sum MS \cdot C_{л-км} + \sum R_{л} \cdot C_{л}^{л} + \sum R_c \cdot C_{л}^c + \sum Pl \cdot C_{ткм бр} + \\ + \sum B_{б-ч} \cdot C_{б-ч} + \sum E_{тэ} \cdot C_{тэ} + \sum K_{ос} \cdot C_{ос} + \sum E_{пт} ,$$

где  $\sum nt$  – затраты вагоно-часов в поездах в движении и во время стоянок на технических и промежуточных станциях по всем участкам железнодорожного направления;  $\sum Mt$  – локомотиво-часы поездных локомо-тивов в поездах на тяговых участках и в пунктах оборота;  $\sum nS$  – вагоно-километры по всем участкам направления;  $\sum MS$  – локомотиво-километры по всем участкам направления;  $\sum R_{л}$  – механическая работа локомотивов на направлении; ;  $\sum R_c$  – механическая работа сил сопротивления на направлении;  $\sum pl$  – тонно-километры брутто перевозочной работы на направлении;  $\sum E_{тэ}$  – расход топлива или электроэнергии на тягу поездов на железнодорожном направлении;

Все измерители работы рассчитываются для каждого участка обращения локомотивов для обоих направлений движения, а затем суммируются по всем участкам, входящим в состав рассматриваемого железнодорожного направления.

### **3.6. Определение величины измерителей для расчета расходов, зависящих от нормы массы поезда**

Приведенные среднесуточные расходы, зависящие от нормы массы поезда, включают главным образом затраты на перемещение поездов, т. е. затраты по пробегу, остановкам и простоям груженных, порожних поездов, одиночных локомотивов, простоям вагонов под накоплением на качей. Если расходы на организацию подталкивания и дополнительные затраты, связанные с остановками поездов, выделить в отдельную группу, то все остальные охватываются девятью измерителями, порядок расчета которых приводится ниже.

1. Вагоно-километры пробега груженных и порожних вагонов в четном и нечетном направлениях для одного из участков определяются на основе диаграмм вагонопотоков или поездопотоков, где приведены данные о длине каждого участка, количестве вагонов или поездов в каждом из направлений

$$\sum nS = L_y (n'_{гр} \cdot n'_{пор} + n''_{гр} \cdot n''_{пор}) \quad 2.6.1$$

или

$$\sum nS = L_{\phi} (N' \cdot m_1^* + N'' \cdot m_2^*), \quad 2.6.2$$

Так как выбор нормы массы поезда производится для заданного объема перевозок, то вагоно-километры пробега вагонов во всех вариантах нормы массы будут одинаковы.

2. Вагоно-часы в движении на участке обращения локомотивов в транзитных поездах и под накоплением на технических станциях участка составляют

$$\sum nt = \frac{\sum nS}{V_v} + \sum nt_{\text{тех}} + \sum K_H \cdot c \cdot m_c, \quad 2.6.3$$

3. Локомотиво-километры во главе поездов и одиночного пробега определяются на основе графика движения для каждого из участков:

$$\sum MS = \sum N'L + \sum N''L + \sum M_0L, \quad 2.6.4$$

Время простоя на технических станциях и в пунктах оборота локомотивов определяется по графику движения с учетом норм времени простоя в пунктах оборота.

5. Бригадо-часы на участке обращения локомотивных бригад определяются как

$$\sum B_{\text{б-ч}} = \frac{\sum MS}{V_y^{\text{б}}} K_{\text{б}}, \quad 2.6.5$$

6. Тонно-километры брутто вагонов и локомотивов на участке определяются по формуле

$$\sum Pl = L_y (n'_{\text{гр}} q'_{\text{бр}} + n''_{\text{пор}} q_{\text{т}} + n''_{\text{гр}} q''_{\text{бр}} + n''_{\text{пор}} q_{\text{т}}) + \sum MS \cdot M_{\text{л}}, \quad 2.6.6$$

7. Механическая работа локомотива достаточно точно учитывает влияние массы и скорости движения поездов на уровень расхода топлива или электроэнергии на тягу поездов, а также износ машин и узлов локомотивов, производящих и потребляющих энергию, идущую на перемещение поездов.

$$\sum R_{\text{л}} = R_{\text{л}}^{\text{н}} \frac{Q^*}{Q_{\text{н}}} \frac{n_0}{T_c^*} = R_{\text{л}}^{\text{н}} \frac{Q^*}{Q_{\text{н}}} N_{\text{гр}}, \quad 2.6.7$$

8. Механическая работа сил сопротивления в одном из направлений движения на участке при известной величине механической работы локомотива определяется по формуле

$$\sum R_c = \sum R_{\text{л}} - (Q + M_{\text{л}})(H_2 - H_1) N_{\text{гр}} \cdot g^4, \quad 2.6.8$$

9. Расход дизельного топлива или электроэнергии на тягу поездов на участке за одни сутки в одном из направлений движения определяется как

$$E_{тэ} = E_{гр}^H \frac{Q}{Q_H} N_{гр} \cdot K_c, \quad 2.6.9$$

Величина коэффициента  $K_c$  зависит от серии локомотива и средней массы поезда. В расчетах, не требующих большой точности для электровозов переменного тока, его величина может быть принята равной 1,10, а для тепловозов – 1,12. Аналогично определяется расход топлива и электроэнергии в обратном направлении движения.

## **ГЛАВА 4.ВЛИЯНИЕ МАССЫ, ДЛИНЫ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ**

### **Глава 4.1.Структура продольных сил в поездах и их влияние на безопасность движения поездов**

Рост экономической эффективности перевозочного процесса за счет повышения массы, длины и скорости движения грузовых поездов сопровождается прогрессирующим рядом негативных последствий и, в частности, снижением уровня безопасности движения. Объясняется это тем, что рост указанных параметров грузовых поездов обеспечивается прежде всего за счет увеличения силы тяги локомотивов и числа вагонов в поездах, что в свою очередь ведет к заметному увеличению продольных растягивающих и сжимающих сил, действующих на автосцепку вагонов.

Они проявляются при изменении режима движения поезда, когда автосцепные устройства вагонов переходят от растянутого состояния к сжатому и наоборот.

Результатами действия этих сил являются повреждения и обрывы автосцепок в поездах, выжимание и сход вагонов с рельсов, нарушение прочности верхнего строения пути, повышенный износ боковых поверхностей рельсов и гребней колесных пар (проблема «колесо–рельс»), а в тяжелых случаях разрушение подвижного состава, конструкций верхнего строения пути, устройств электроснабжения, СЦБ и др.

Статистические данные подтверждают факт неуклонного роста числа подобных случаев на сети железных дорог. В нормах для расчета и проектирования вагонов колеи 1520 мм что рабочая нагрузка современной автосцепки СА-3 составляет не менее 250 тс<sup>5</sup> при растяжении и 300 тс – при сжатии.

Натурные прочностные испытания корпусов автосцепок показывают, что разрывы новых автосцепок происходят при нагрузке, превышающей 400 тс. Испытания на разрыв автосцепок со сроком службы 25 и 30 лет также показали, что они обладают достаточным запасом прочности. При испытаниях на нагрузку 290 тс излома корпусов не произошло.

Приведенные уровни продольных сил 250, 290 и 400 тс значительно превосходят максимально возможную силу тяги по сцеплению современных локомотивов. Так, наибольшая сила тяги, развиваемая при трогании с места трехсекционным двенадцатиосным электровозом 1,5ВЛ80, достигает 99,3 тс, а трехсекционным тепловозом ЗТЭ10С – около 96 тс.

В процессе разгона и движения на трудных подъемах сила тяги указанных локомотивов на 20–25 % ниже уровней сил при трогании с места.

Сила тяги локомотива является единственной активной силой, вызывающей движение поезда расчетной массы на трудных подъемах с расчетной скоростью. Поэтому, казалось бы, что все другие виды сил в автосцепках, противодействующих силе тяги, не должны превышать последней. Но факты обрыва автосцепок свидетельствуют, что реальные продольные усилия в определенные периоды движения могут значительно превосходить силу тяги и могут превышать 250 и даже 400 тс, когда разрушаются автосцепки новых вагонов. Следовательно, в определенные критические моменты продольные силы в поездах могут в 2,5–4 раза превышать силу тяги локомотива. При этом особенно следует подчеркнуть, что в процессе обрыва участвует не одна, а две численно равные, но противоположно направленные силы. Если хотя бы одна из них не будет превышать максимальную силу, которую выдерживает автосцепка, то разрыва не произойдет, а избыточная величина одной из них будет способствовать увеличению или уменьшению скорости поезда.

В связи с изложенным возникают следующие вопросы:

-во-первых, как можно объяснить проявление в поездах таких огромных продольных растягивающих и сжимающих сил, которые в несколько раз превышают силу тяги трех- и четырехосных электровозов и тепловозов;

-во-вторых, каковы энергетические источники этих сил;

-в-третьих, как называются эти силы в учебной, научно-технической и нормативной литературе, посвященной проблемам тяги и динамике движения поездов;

-в-четвертых, какие технические и технологические факторы оказывают решающее влияние на величину внутренних продольных сил, а также на их количественные зависимости от основных параметров грузовых поездов, характеристик подвижного состава, плана и профиля пути;

-в-пятых, что необходимо предпринять для устранения случаев обрыва автосцепок и выжимания вагонов в настоящее время и предупреждения таких случаев в будущем, когда тенденции роста массы, длины и скорости движения поездов сохранятся.

Для ответа на поставленные вопросы рассмотрим действие продольных сил в поезде в процессе его трогания с места на прямом, горизонтальном участке пути, учитывая при этом, что при наличии рабочего хода автосцепок вагоны приходят в движение поочередно.

Если рассматривать усилия в автосцепках, например, десятого и одиннадцатого вагонов (в момент трогания с места одиннадцатого), то сила  $F$  будет реализована за счет силы тяги локомотива, а также кинетической энергии локомотива и десяти головных вагонов, уже пришедших в движение. При этом ее величина будет зависеть как от массы головной части, так и от ее скорости. Этим двум силам противодействуют основное сопротивление движению и сила, противодействующая ускорению хвостовой части поезда. Это соответствует третьему закону Ньютона, которым утверждается, что при взаимодействии двух тел силы воздействия одного на другое равны по величине и противоположно направлены.

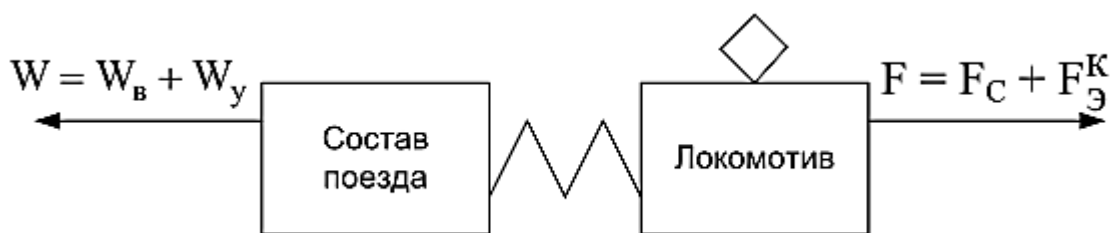


Рис 4.1. Действие продольных сил в поезде в процессе его трогания с места

Под воздействием переменных сил тяги локомотива, тормозных и внешних сил длина поезда изменяется. При этом скорости движения отдельных групп вагонов в поезде становятся меньшими или большими чем скорость движения локомотива.

В первом случае происходит процесс растяжения состава, а во втором – сжатия. Оба процесса сопровождаются проявлением двух внутренних противодействующих сил  $F_{кэ}$  и  $W_y$ . Первая из них сопутствует переходу части кинетической энергии от группы вагонов с большей скоростью движения к группе вагонов с меньшей скоростью, а также в другие виды энергии, в частности в тепловую. Вторая из них противодействует изменению скорости или ускорению.

Следует подчеркнуть, что эти две внутренние силы складываются с силами тяги локомотива, торможения, основного и дополнительных сопротивлений движению и в экстремальных случаях, угрожающих безопасности движения, в несколько раз превышают последние.

Следует заметить, что активная сила  $F_{кэ}$ , реализуемая за счет кинетической энергии только локомотива (или локомотива с головной группой вагонов), в современной вузовской литературе по тяге поездов и в ПТЭ в уравнении движения поезда не используется. Объясняется это тем, что там поезд рассматривается как материальная точка, это исключает наличие внутренних продольных сил. В данном случае поезд рассматривается как система материальных тел, в которой сила  $F_{кэ}$  проявляется, если локомотив к началу

трогания с места первого вагона (или последующих) уже приобрел определенную скорость. Это возможно за счет рабочего хода автосцепок локомотива и вагонов. Поэтому в процессе поочередного трогания с места последующих вагонов усилия на автосцепках возрастают, так как к кинетической энергии локомотива прибавляется энергия уже движущихся головных вагонов.

При этом кинетическая энергия и соответствующая ей сила увеличиваются не только за счет массы части состава, пришедшей в движение, но и за счет роста скорости разгона. Кинетическую энергию относят к механической энергии. Поэтому и соответствующую ей силу  $F_{кэ}$  будем в дальнейшем называть механической силой. В научно-технической железнодорожной литературе эта сила не имеет названия.

Сила  $W_y$ , согласно третьему закону Ньютона, противодействует ускоряющей силе. В учебной литературе по физике она не имеет названия, но так как она характеризует величину инертной массы тела, то в дальнейшем для краткости изложения будем называть ее инерционной силой. (В старых учебниках физики ее иногда называют силой инерции.) В учебной литературе по основам тяги поездов для железнодорожных вузов эта сила в большинстве случаев не используется не только для решения разнообразных тяговых задач, но и для объяснения механики взаимодействия вагонов, локомотивов и верхнего строения пути. В то же время анализ аварийных ситуаций показывает, что именно механическая сила во взаимодействии с противоположно направленной инерционной силой.

В современных условиях длина поездов достигла 1000 м и более. Поэтому первостепенное влияние на величину продольных сил  $F_{кэ}$  и  $W_y$  оказывает уровень возможных перемещений вагонов относительно друг друга и движущегося локомотива. Эти перемещения реализуются за счет рабочего хода пружинно-фрикционных аппаратов автосцепных устройств вагонов, а также продольных зазоров в автосцепках, необходимых для нормального их соединения и разъединения.

Значительная часть грузовых вагонов России оборудована фрикционными поглощающими аппаратами Ш–2–В, обеспечивающими под действием силы до 250 тс максимальный рабочий ход 90 мм как при растяжении, так и сжатии<sup>6</sup>. Величина продольного зазора в соединенных автосцепках устанавливается не менее 50 мм у новых и не более 100 мм у изношенных корпусов автосцепок. В связи со значительным износом вагонного парка средняя величина зазора может быть принята равной 80 мм.

Следовательно, расстояние между концевыми балками двух соседних вагонов от крайне сжатого до крайне растянутого состояния поглощающих аппаратов может увеличиваться на  $2 \cdot 90 + 2 \cdot 90 + 80 = 440$  мм. Это означает, что теоретически длина поезда, состоящего из 100 физических вагонов, в экстремальных случаях может изменяться на 44 м, а состава из 71 вагона – на 31,2 м.

Из сказанного можно сделать вывод, что в процессе трогания и остановок, разгонов и замедлений в поезде проявляются продольные растягивающие и сжимающие усилия, которые складываются из силы тяги локомотива, положительных и отрицательных сил от уклона, силы основного сопротивления, силы дополнительных сопротивлений от кривых участков пути и ветра, а также сил, реализуемых за счет кинетической энергии локомотива и отдельных групп вагонов, а также сил, противодействующих ускорению.

В свою очередь величина перечисленных сил в значительной мере зависит от массы, длины и скорости движения грузовых поездов, а также режима их движения. При определенных режимах суммарные внутренние продольные растягивающие или сжимающие силы превышают максимально допустимые значения по прочности автосцепок или предельным силам по условиям выжимания вагонов.

## 4.2. Механика обрыва автосцепки и выжимания вагонов в грузовых поездах

Механику действия продольных сил и упрощенную схему их расчета рассмотрим на примере реального случая обрыва хвостовых вагонов притрогании с места поезда, остановившегося у запрещающего входного сигнала станции на затяжном подъеме длиной 4 км, с уклоном 8,7 ‰. Поезд весом 5943 т в составе 73 вагонов следовал с трехсекционным электровозом ВЛ80. Обрыв автосцепки произошел между 48 и 49 вагонами. Так как поезд двигался к станции на подъем на запрещающее показание входного сигнала, то машинист электровоза прежде всего перевел рукоятку контроллера на низшую ходовую позицию, после снижения скорости выключил контроллер и привел в действие вспомогательный тормоз локомотива, а после сжатия состава включил автоматические тормоза.

В материалах расследования этого случая ничего не сказано, насколько удалась машинисту операция по сжатию состава, но после свершившегося факта обрыва можно предположить, что хвостовая часть поезда остановилась в растянутом состоянии. Машинист локомотива практически не имел возможности проконтролировать состояние этой части поезда.

После открытия входного сигнала машинист произвел отпуск автоматических тормозов состава и, не ожидая, когда состав начнет двигаться на спуске назад, последовательным набором первых позиций контроллера привел локомотив в движение. Так как автосцепки локомотива и вагонов головной части поезда были частично сжаты, то до момента трогания с места первого вагона локомотив прошел расстояние  $v = 0,26$  м, трогания второго – 0,52 м, а 49-го вагона – 12,5 м. На этом отрезке пути скорость локомотива с головной частью состава достигла 3,65 км/ч. По мере увеличения скорости последовательно возрастали усилия на автосцепках вагонов, так как скорость каждого последующего вагона на одинаковых отрезках пути, равных  $v$ , становилась большей, чем у предыдущего. (Именно этим объясняется тот факт, что при

трогании с места усилие на автосцепках в середине состава часто в 1,2–1,5 раза превышает силу на автосцепках локомотива и головного вагона).

В процессе разгона автосцепки головной части поезда оказались в растянутом состоянии, а энергетические возможности их поглощающих аппаратов во многом были исчерпаны. Автосцепки хвостовой части остались растянутыми еще при остановке поезда.

Автосцепки между 48-м и 49-м вагонами, как можно предполагать, были в нейтральном положении, и поэтому наибольший прирост расстояния между концевыми балками этих вагонов при растяжении мог составить лишь  $0,09 + 0,09 + 0,08 = 0,26$  м. В этих условиях скорость хвостовой части должна была бы увеличиться от 0 до 3,65 км/ч на отрезке пути всего 0,26 м, а ускорение при этом составить  $1,97 \text{ м/с}^2$ .

В этом случае полное сопротивление троганию с места и разгона, т.е. хвостовой части поезда до скорости 3,65 км/ч составило

$$W = Q_{\text{ХВ}} (\omega_0'' + i) / 1000 + Q_{\text{ХВ}} (1 + \gamma) \cdot a / g .$$

Первое слагаемое этого уравнения представляет сумму основного и дополнительного сопротивлений (от уклона), а второе – сопротивление инерционной силы хвостовой части. Приняв для данного примера массу хвостовой части поезда  $Q_{\text{ХВ}} = 2095$  т, основное удельное сопротивление вагонов  $\omega_0'' = 1,0$  кгс/т, удельное сопротивление от подъема  $i = 8,7$  ‰, коэффициент инерции вращающихся масс  $\gamma = 0,06$ , ускорение хвостовой части поезда  $a = 1,97 \text{ м/с}^2$ , ускорение свободного падения  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ , получим в численном выражении вероятную максимальную величину полного сопротивления вагонов хвостовой части:

$$W = 2095 (1,0 + 8,7) / 1000 + 2095 (1 + 0,06) 1,97 / 9,81 = 20 + 446 = 466 \text{ тс} .$$

Обращает внимание тот факт, что инерционная сила составила 446 тс или 96 % от общего сопротивления разгону хвостовой части поезда. Следует отметить, что если бы хвостовые вагоны оказались с не до конца отпущенными тормозами,

то полная сила сопротивления достигла бы заметно большей величины, чем приведена в расчете.

Со стороны головной части действовала противоположно направленная сила, которая складывается из силы тяги локомотива и механической силы, реализуемой за счет кинетической энергии как вагонов, так и локомотива. Максимально возможную величину последней по запасу кинетической энергии можно определить, используя известную из ПТЭ зависимость:

$$F_{кэ} = \frac{4,17 (V_H^2 - V_K^2)(Q_L + Q_{гол})}{\Delta V \cdot 1000} = \frac{4,17 (3,65^2 - 2,42^2) 4124}{0,26 \cdot 1000} = 494 \text{ тс.}$$

В этом расчете принято, что если бы в результате трогания с места хвостовой части поезда не произошел обрыв автосцепки, то скорость движения головной части снизилась бы с 3,65 до 2,42 км/ч, а механическая сила могла бы достичь 494 тс, т. е. в 5 раз превысить силу тяги локомотива и в 2 раза силу, потребную для разрыва автосцепки.

Конечно, в реальных эксплуатационных условиях уровни инерционной и механической сил в определенной степени снижаются за счет работы поглощающих аппаратов автосцепок, но во всех аварийных случаях именно они являются решающими, так как значительно превосходят любую другую продольную силу в поездах.

Из приведенного примера следует, что обрыв автосцепки возможен только в случаях, когда растягивающая сила головной части поезда также как и противодействующая ей сила хвостовой части достигают уровней, равных или превышающих допустимую норму рабочей нагрузки  $F_d = 250$  тс.

Если энергетические возможности одной из частей поезда не обеспечат силу, превышающую допустимую по условиям обрыва, то разрушение автосцепки не произойдет.

При торможении энергетическими источниками являются кинетическая и потенциальная энергия хвостовой части поезда, движущейся со скоростью

большей, чем скорость головной части. Противодействующая продольная сила со стороны головной части поезда складывается прежде всего из инерционной силы, а также сил основного сопротивления, дополнительных сопротивлений и тормозной. Величина инерционной силы в этой сумме зависит от массы локомотива и вагонов головной части поезда, а также от разности и абсолютного уровня скоростей движения двух частей поезда.

Необходимо отметить, что при разности скоростей, не превышающей критический уровень, наличие механической сжимающей силы в поезде ведет к тому, что вагоны выстраиваются в плане в виде ломаной линии по каждому межвагонному соединению. В результате одна из тележек вагона прижимается к одному рельсу, другая – к противоположному, от чего увеличивается основное сопротивление движению и, как следствие, износ боковых поверхностей рельсов и гребней колесных пар.

В свою очередь повышенный уровень продольных растягивающих сил вызывает рост сопротивления движению в кривых участках пути, что способствует не только интенсивному износу рельсов и колесных пар, но также расстройству пути.

Следовательно, воздействие значительных по величине инерционных сил и сил, реализуемых за счет кинетической энергии, способствует обострению проблемы «колесо–рельс».

Из приведенного примера расчета продольных растягивающих сил следует, что наибольшее влияние на их величину оказывают:

– длина поезда, от которой зависит число автосцепок в нем и, следовательно, возможные изменения его длины. Чем больше возможное увеличение длины поезда, тем значительнее может быть разница скоростей движения головной и хвостовой частей поезда и тем выше уровень противодействующих инерционной и механической сил. Если бы соединение вагонов было жестким, то не было бы указанных внутренних сил, а усилия в

автосцепках в любом сечении поезда никогда бы не превышали силу тяги локомотива;

– масса состава и локомотива. При разгоне масса головной части поезда влияет на механическую силу, а хвостовой части – на величину инерционной силы. При торможении поездов влияние массы головной и хвостовой частей имеет противоположный характер;

– абсолютные уровни скорости движения головной и хвостовой частей поезда, а также величина разности этих скоростей в момент обрыва автосцепки или выжимания вагонов. От величины скоростей зависит кинетическая энергия и соответствующая ей ускоряющая сила, которую может развить та часть поезда, которая движется с большей скоростью, а также величина ускорения, которое входит в расчет инерционной силы;

– уровень среднеходовой и максимальной скоростей, заложенных в нормативный график движения поездов. Чем выше эти уровни, тем больше вероятность проявления в поездах сверхнормативных продольных сил;

– мощность локомотива, приходящаяся на единицу массы поезда. Она определяет уровень скорости движения и ускорения поезда при разгоне и, следовательно, величину как инерционной, так и механической сил.

Наряду с этим на внутренние продольные силы в поездах оказывают влияние характер профиля и плана пути, силы основных и дополнительных сопротивлений, тормозные силы, наличие и уровень ограничений скорости движения, исправность тормозной системы и фрикционных аппаратов автосцепок, порядок расположения в поезде тяжелых и легких вагонов, техника вождения поездов машинистами локомотивов и ряд других факторов.

Анализ перечисленных факторов показывает, что при существующих технических характеристиках железнодорожного пути и подвижного состава, наибольшее влияние на возникновение аварийных ситуаций оказывают технологические параметры, а именно: установленные нормы массы, длины и скорости движения поездов. Управлять безопасностью за счет уменьшения массы

и длины поезда экономически не эффективно. Поэтому основным является метод регулирования скорости движения в тех случаях, когда имеется вероятность проявления сверхдопустимых продольных сил. Оно должно сводиться к снижению уровня ускорений при разгонах и замедлениях поезда за счет некоторого увеличения продолжительности этих процессов. Это не окажет влияния на перегонные нормы времени хода по графику движения в связи с имеющимися резервами, но значительно повысит уровень безопасности движения.

Необходимо уточнить критерии оценок возможных вариантов при выборе норм времени хода по графику на основе тяговых расчетов и опытных поездок, учитывая при этом требования обеспечения безопасности. В связи с этим следовало бы значительно усовершенствовать существующую методику выполнения тяговых расчетов.

Поскольку сверхнормативные продольные силы в поездах проявляются, как правило, при изменении режимов тяги, а именно разгонах и замедлениях, то многое может быть сделано не только машинистами локомотивов, но также дежурными по станциям и поездными диспетчерами для сокращения количества задержек поездов у входных сигналов и неграфиковых остановок поездов на станциях. При формировании поездов для уменьшения инерционной силы хвостовой части поезда необходимо стремиться к тому, чтобы группы наиболее тяжелых вагонов ставились в голову поезда, а легкие – в хвост. Существенную роль в решении задачи может иметь снижение количества временных и постоянно действующих ограничений скорости на перегонах и станциях.

Следует повысить требования к состоянию поглощающих аппаратов автосцепок, улучшению их текущего обслуживания. В перспективе при проектировании профиля новых железнодорожных линий необходимо учитывать тенденции роста массы, длины и скорости движения поездов.

При проектировании и строительстве новых вагонов целесообразно значительно увеличить прочность автосцепки и других узлов вагонов,

поверженных действию продольных сил. Особое внимание должно быть уделено совершенствованию конструкции и увеличению энергоемкости поглощающих аппаратов автосцепок.

Дальнейшее повышение массы поездов должно проводиться в основном за счет увеличения грузоподъемности и в меньшей мере за счет количества вагонов в поезде и длины поездов.

Новые локомотивы должны иметь удельную мощность тяговых двигателей большую, чем современные. Это обеспечит меньшие перепады в скорости движения на трудных и легких элементах профиля, а также позволит сократить парк локомотивов, вагонов, потребное количество локомотивных бригад.

Рассматриваемую проблему в определенной мере можно было бы решить на основе создания надежной автоматизированной системы управления локомотивами, которая бы обеспечивала постоянный контроль за состоянием тормозной системы, уровнем продольных сил в автосцепках вагонов, величиной ускорений локомотива и отдельных вагонов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уровни ежегодно устанавливаемых на каждой железной дороге норм массы, длины и скорости движения грузовых поездов оказывают решающее влияние на экономические результаты организации перевозок на сети железных дорог страны. Изложенная в настоящем пособии технология расчета позволяет учитывать многообразие взаимосвязи между указанными показателями и их влияние на качество организации эксплуатационной работы. Представленный в пособии способ нормирования массы грузовых поездов обеспечивает выбор более высоких значений по сравнению с методикой, изложенной в действующих Правилах тяговых расчетов.

В учебном пособии приведены математические зависимости массы, длины и скорости движения поездов от уровня технического развития железнодорожных полигонов, видов тяги, типов локомотивов, плана и профиля пути, длины станционных путей и других техникоэкономических показателей работы железных дорог. Это обеспечивает студентам, выполняющим курсовые и дипломные проекты, выбор наиболее эффективного варианта организации перевозок.

Увеличение массы, длины и скорости движения поездов обостряет проблему безопасности движения, поэтому в учебном пособии уделено достаточно внимания анализу и методике расчета продольных сил в грузовых поездах в зависимости от каждого из трех указанных параметров.

Изложены методы предупреждения случаев обрыва автосцепок при действии растягивающих сил и выжимания вагонов в случаях сжатия поезда.

Хорошие знания студентами содержания теоретических и практических вопросов, изложенных в данном издании, в дальнейшем могут оказать положительное влияние на результаты их работы на предприятиях железнодорожного транспорта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов И.А. Узбекистан по пути углубления экономических реформ. Ташкент : "Узбекистон", 1995.
2. Каримов И.А. Либерализация экономики, эффективность использования ресурсов – наше главное направление.// Том 10, Т: "Узбекистон", 2002
3. Каримов И.А. Модернизация страны и построение сильного гражданского общества – наш главный приоритет Ташкент 2010.
4. «Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макаровичкин [и др.]; под ред. П.С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994..
5. Закон Республики Узбекистан о железнодорожном транспорте. Ташкент, 15-апреля 1999 г.
6. Устав железной дороги Республики Узбекистан. Ташкент, 2008 г.
7. Правила перевозок грузов на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 2002 г. Часть 1.
8. Правила технической эксплуатации железной дороги Республики Узбекистан. Ташкент, 2013 г.
9. Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железной дороге Республики Узбекистан. Ташкент, 2001 г.
10. Инструкция по сигнализации на железной дороге Республики Узбекистан. Ташкент, 2001 г.
11. 4. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте. В 2 т. Т. 2 / под ред. В.И. Ковалева и А.Т. Осьминина. – М. : ФГОУ «УМЦ по образованию на ж.-д. тр-те», 2011. – 440 с.
12. Гребенюк, П.Г. Тяговые расчеты : справочник / П.Г. Гребенюк, А.Н. Долганов, А.И. Скворцова; под ред. П.Т. Гребенюка. – М. : Транспорт, 1987.