

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Изыскания и проектирование транспортных коммуникаций»**

**Н. В. ДОВГЕЛЮК**

**УЧЕБНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**  
**ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**  
**ПО ТЯГОВЫМ РАСЧЕТАМ**

**Пособие по курсовому проектированию**

**Гомель 2005**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование транспортных коммуникаций»

Н. В. ДОВГЕЛЮК

УЧЕБНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ  
ПО ТЯГОВЫМ РАСЧЕТАМ

Пособие по курсовому проектированию

*Одобрено методической комиссией строительного факультета*

Гомель 2005

УДК 629.4.016.12.001.2 (075.8)  
ББК 39.28  
Д181

Р е ц е н з е н т – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» **П. В. Ковтун**, (УО «БелГУТ»).

**Довгелюк Н. В.**

Д181 Учебные исследования при выполнении курсовой работы по тяговым расчетам: Пособие по курсовому проектированию. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005. – 22 с.

Приведена методика выполнения учебных исследований по темам, охватывающим некоторые вопросы тяговых расчетов.

Предназначено для студентов специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство».

**УДК 629.4.016.12.001.2 (075.8)**  
**ББК 39.28**

© УО «БелГУТ», 2005  
© Н. В. Довгелюк, 2005

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Исследование зависимости основного удельного сопротивления движению грузовых вагонов от массы, приходящейся на ось колесной пары. . . . .	4
2	Исследование зависимости соотношения вагонов данной группы в составе по массе от соотношения по количеству. . . . .	4
3	Исследование влияния конструкции пути на основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов. . . . .	6
4	Сравнение полученных по разным формулам расчетных значений дополнительного сопротивления от кривой. . . . .	7
5	Исследование зависимости массы состава от основного сопротивления (при разных руководящих уклонах). . . . .	8
6	Исследование зависимости массы состава, ограниченной условиями трогания с места, от массы вагона, приходящейся на ось колесной пары. . . . .	10
7	Исследование зависимости массы состава, ограниченной полезной длиной приемо-отправочных путей, от погонной нагрузки. . . . .	11
8	Исследование влияния кривых малого радиуса на массу состава. . . . .	11
9	Сравнение расчетных значений массы состава, полученных по разным формулам. . . . .	13
10	Исследование влияния атмосферных условий на массу состава при тепловой тяге. . . . .	14
11	Исследование зависимости длины состава от доли большегрузных вагонов. . . . .	15
12	Определение зависимости скорости, допускаемой по тормозам на спусках от величины тормозного коэффициента. . . . .	18
13	Определение зависимости скорости, допускаемой по тормозам, от длины тормозного пути. . . . .	20
14	Определение зависимости времени хода, механической работы силы тяги локомотива и расхода топлива (электроэнергии) от максимальной скорости. . . . .	20
	Список литературы. . . . .	22

## **1 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОСНОВНОГО УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ОТ МАССЫ, ПРИХОДЯЩЕЙСЯ НА ОСЬ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ**

Данное исследование выполняется применительно к тем типам вагонов и к той конструкции пути, которые указаны в задании на курсовую работу.

Вариантные расчеты  $\omega_0''$  (4) и  $\omega_0''$  (8) рекомендуется выполнить при следующих значениях массы, приходящейся на ось колесной пары  $q_0$ : 15,0; 17,5; 20,0; 22,5 и 25,0 т.

Так как сопротивление движению вагонов зависит не только от  $q_0$ , но и от скорости движения  $v$ , то с целью выявления влияния  $q_0$  на сопротивление движению вагонов при различных значениях скорости расчеты следует произвести при двух значениях скорости – 25 и 100 км/ч.

Результаты вычислений по всем вариантам (при всех рассмотренных значениях  $q_0$ ,  $v$  и типах вагонов) следует представить в табличной форме.

Как результат исследования должны быть построены кривые  $\omega_0'' = f(q_0)$  при принятых в расчетах значениях скорости движения  $v$ , и, кроме того, должна быть дана оценка абсолютного и относительного изменений сопротивления движению вагонов  $\omega_0''$  с изменением массы, приходящейся на ось колесной пары  $q_0$ . При этом следует также оценить влияние скорости движения и типа вагонов на сопротивление движению  $\omega_0''$ .

## **2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СООТНОШЕНИЯ ВАГОНОВ ДАННОЙ ГРУППЫ В СОСТАВЕ ПО МАССЕ ОТ СООТНОШЕНИЯ ПО КОЛИЧЕСТВУ**

Как известно, из-за различий в весовых характеристиках доля вагонов той или иной группы в составе по массе  $\beta$  не равна их доле в количественном выражении  $\gamma$ . Обычно известной является величина  $\gamma$  (в процентах или долях единицы), а для определения основного средневзвешенного сопротивления состава и при решении других задач тяговых расчетов надо знать  $\beta$ . Количественная оценка зависимости между  $\beta$  и  $\gamma$  и является задачей исследования. Оно выполняется применительно к наиболее простому случаю, когда в составе поезда имеется только две группы вагонов в количестве  $n_i$  и  $n_k$  с массой одного вагона каждой группы соответственно  $q_i$  и  $q_k$ .

Так как  $\beta_1 = Q_j/Q$  и  $\beta_k = Q_k/Q$  (здесь  $Q_j$  и  $Q_k$  – масса вагонов данной груп-

пы в составе;  $Q = Q_j + Q_k$  – масса состава), то

$$\beta_j = n_j q_j / (n_j q_j + n_k q_k); \quad \beta_k = n_k q_k / (n_j q_j + n_k q_k). \quad (2.1)$$

Поскольку  $\beta_j + \beta_k = 1$ , то достаточно определить по формуле (2.1) весовую долю лишь одной группы вагонов.

Исключим из формулы (2.1) абсолютные значения  $n_j$  и  $n_k$ , и, учитывая, что  $n_j/n = \gamma_j$  и  $n_k/n = \gamma_k$ , где  $n = n_j + n_k$  – общее число вагонов в составе, получим

$$\beta_j = \gamma_j q_j / (\gamma_j q_j + \gamma_k q_k). \quad (2.2)$$

Для последующих расчетов целесообразно преобразовать формулу (2.2). Поделив числитель и знаменатель на  $\gamma_j q_j$  и заменив  $\gamma_k$  равной величиной  $(1 - \gamma_j)$ , получим

$$\beta_j = I / [I + (I/\gamma_j - 1)q_k/q_j]. \quad (2.3)$$

Обозначим в формуле (2.3) отношение массы вагонов через  $m$ , т.е. примем  $q_k/q_j = m$ . Тогда

$$\beta_j = I / [I + (I/\gamma_j - 1)m]. \quad (2.4)$$

На основе расчетов по формуле (2.4) необходимо при разных  $m$  построить кривые  $\beta = f(\gamma)$ , являющиеся итогом исследования.

Из формулы (2.4) следует, что если  $\gamma = 0$ , то и  $\beta = 0$ ; аналогично, если  $\gamma = 1$ , то  $\beta = 1$ , при любых  $m$ . Таким образом, в системе координат  $\beta - \gamma$  (рисунок 2.1) известным является положение двух точек.

В зависимости от фактических значений  $q_k$  и  $q_j$  величина  $m$  может быть и меньше, и больше единицы. В частном случае, когда  $m = 1$  ( $q_k = q_j$ ), т.е. в составе – только однотипные вагоны), при любом  $\gamma$  будет иметь место равенство  $\beta = \gamma$  (на рисунке 2.1 – прямая линия).

Прежде чем выполнять расчеты при  $m \neq 1$ , рекомендуется проанализировать формулу (2.4), установив знак соотношения между  $\beta$  и  $\gamma$  (больше, меньше) при  $m < 1$  и  $m > 1$ .

Результаты вычислений  $\beta$  следует представить в табличной форме (таблица 2.1), а затем использовать их для построения кривых  $\beta = f(\gamma)$  на рисунке 2.1.

В заключение необходимо привести примеры практического использования построенных кривых  $\beta = f(\gamma)$ .

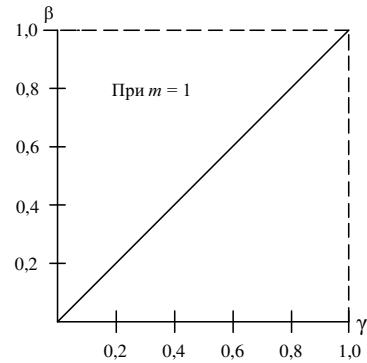


Рисунок 2.1 – Кривые  $\beta = f(\gamma)$  при разных  $m = q_k/q_j$

Для самостоятельного исследования (в научно-исследовательском кружке – для подготовки доклада на студенческой конференции) рекомендуется разработка практических способов определения  $\beta$  в тех случаях, когда число групп вагонов с разными весовыми характеристиками в составе более двух.

Т а б л и ц а 2.1 – Значение  $\beta$  при разных  $\gamma$  и  $m$

$\gamma_i$	Значение $\beta$ при $m$ , равном						
	1,6	1,4	1,2	1	0,8	0,6	0,4
0							
0,2							
0,4							
0,6							
0,8							
1,0							

### 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ НА ОСНОВНОЕ УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Исследование выполняется применительно к четырех - и восьмиосным вагонам на роликовых подшипниках при движении как по звеньевому, так и по бесстыковому пути. Вариантные расчеты  $\omega_0''$  (4) и  $\omega_0''$  (8) рекомендуется выполнить при следующих значениях массы, приходящейся на ось колесной пары  $q_0$ : 15,0; 17,5; 20,0; 22,5 и 25,0 т.

Так как сопротивление движению вагонов зависит не только от  $q_0$ , но и от скорости движения  $v$ , то, чтобы учесть влияние скорости  $v$  на сопротивление движению вагонов при разных конструкциях пути, расчеты следует произвести при двух значениях скорости – 25 и 100 км/ч.

Результаты расчетов по всем вариантам (при различной конструкции пути и всех рассмотренных значениях  $q_0$ ,  $v$  и типах вагонов) должны быть представлены в виде таблиц.

По результатам расчетов рекомендуется, прежде всего, построить кривые, выражающие зависимость основного удельного сопротивления движению вагонов  $\omega_0''$  при принятых в расчетах значениях скорости движения  $v$  и конструкции пути от массы  $q_0$ , т.е. кривые  $\omega_0'' = f(q_0)$ .

Кроме того, необходимо оценить абсолютное и относительное изменения сопротивления движению вагонов  $\omega_0''$  с изменением конструкции пути (звеньевой путь и бесстыковой) при различных значениях скорости движения  $v$  и массы  $q_0$ , приходящейся на ось колесной пары.

#### 4 СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ПО РАЗНЫМ ФОРМУЛАМ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ КРИВОЙ

В соответствии с ПТР подсчеты дополнительного сопротивления от кривой  $\omega$  и на эксплуатируемых дорогах рекомендуется производить по формулам, которые не учитывают скорость движения поезда. Так, при длине поезда менее или равной длине кривой для определения  $\omega_r$  используется формула

$$\omega_r = 700/R \quad (4.1)$$

или

$$\omega_r = 12,2\alpha^\circ/S_{кр}, \quad (4.2)$$

где  $R$  – радиус кривой, м;

$\alpha^\circ$  – угол поворота, град;

$S_{кр}$  – длина кривой, м.

Обычно эти же формулы (или производные от них для случаев, когда длина поезда больше длины кривой) используются и при проектировании железных дорог. Однако, как показали исследования, выполненные в ЦНИИ МПС, более достоверные результаты дают формулы, учитывающие при подсчете  $\omega_r$  скорость движения поезда (при длине поезда менее или равной длине кривой):

$$\omega_r = 200/R + 1,2\tau_k \quad (4.3)$$

или

$$\omega_r = 3,5\alpha^\circ/S_{кр} + 1,5\tau_k, \quad (4.4)$$

где  $\tau_k$  – непогашенное ускорение в кривой,  $m/c^2$ .

Как указано в ПТР, величина  $\tau_k$  задается в качестве норматива или определяется по формуле

$$\tau_k = v^2/(13R) - hg/S_k, \quad (4.5)$$

где  $v$  – скорость поезда в кривой, км/ч;

$h$  – возвышение наружного рельса, мм;

$S_k$  – расстояние между кругами катания колес подвижного состава, мм  
(для колеи 1520 мм  $S_k = 1600$  мм);

$g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

При  $S_k = 1600$  мм и  $g = 10 m/c^2$  формула (4.5) принимает вид

$$\tau_k = v^2/(13R) - h/160. \quad (4.6)$$

В литературе, посвященной вопросам определения  $\omega_r$ , отмечается, что формулы (4.1) или (4.2) при малых радиусах дают завышенные, а при боль-



ших – заниженные значения сопротивления по сравнению с результатами расчетов по формулам (4.3) или (4.4). В настоящем исследовании для получения более конкретных данных рекомендуется на первом этапе выполнить расчеты по формулам (4.1) и (4.3) при всех стандартных значениях радиусов кривых, применяемых при проектировании новых железных дорог, и разной величине непогашенного ускорения  $\tau_k$  (принять  $\tau_k = 0; 0,2; 0,4; \dots; 1,0 \text{ м/с}^2$ ).

По результатам расчетов в первую очередь следует построить кривые  $\omega_r = f(R)$ , ориентировочный вид которых приведен на рисунке 4.1. Их очертания и взаимное расположение позволяют оценить различие в полученных значениях  $\omega_r$  во всем диапазоне изменения  $R$  и  $\tau_k$ . Но наибольший интерес представляет количественная оценка разницы в значениях  $\omega_r$ , полученных по формулам (4.1) и (4.3). Поэтому при каждом варианте  $\tau_k$  следует подсчитать абсолютную  $\Delta\omega_r$ , а затем относительную  $\Delta\omega_r/\omega_r$  разность сопротивлений, приняв за исходные значения  $\omega_r$ , полученные по формуле (4.3). Итоги этих расчетов целесообразно представить в виде кривых  $\Delta\omega_r/\omega_r = f(R)$  при разных  $\tau_k$ , которые будут показывать степень (процент) погрешности, допускаемой при использовании формулы (4.1) в расчетах.

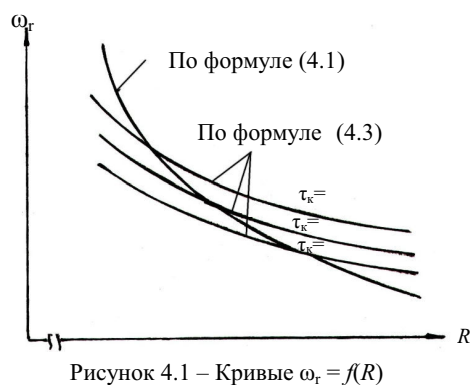


Рисунок 4.1 – Кривые  $\omega_r = f(R)$

На втором этапе исследования рекомендуется проанализировать возможные и наиболее вероятные значения  $\tau_k$ , полученные расчетом по формуле (4.6) при различных вариантах исходных данных. Указанный анализ в сочетании с результатами исследования, выполненного на первом этапе, должен иметь конечной целью выработку практических рекомендаций в отношении подсчетов

дополнительного сопротивления от кривых, в частности, о допустимости подсчета  $\omega_r$  по формуле (4.1), которая используется в настоящее время проектировщиками железных дорог. В полном объеме описанное исследование выходит за рамки УИРС. Оно может быть представлено как работа, выполненная в научно-исследовательском кружке при кафедре.

## 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МАССЫ СОСТАВА ОТ ОСНОВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ (ПРИ РАЗНЫХ РУКОВОДЯЩИХ УКЛОНАХ)

Для установления зависимости массы состава от основного сопротивления, т.е. зависимости  $Q = f(\omega_0)$ , надо подсчитать значения  $Q$  при разных  $\omega_0$ :

$$Q = [F_{кр} - (\omega_0' + i_p)P]/(\alpha \omega_0'' + i_p) \quad (5.1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент изменения основного сопротивления.

Исследование выполняется применительно к тем значениям руководящего уклона  $i_p$ , которые указаны в задании к курсовой работе. В качестве исходного значения основного удельного средневзвешенного сопротивления состава  $\omega_0''$  следует принять то, которое соответствует структуре и весовым характеристикам вагонов по тому же заданию.

Вариантные расчеты  $Q$  рекомендуется произвести при различном увеличении или уменьшении исходного значения  $\omega_0''$ , например, на 10; 20; 30; 40 и 50 %. В этом случае в расчетах по формуле (5.1) надо принять  $\alpha$  равным от 1,5 до 0,5 (с интервалом 0,1).

Результаты расчетов по всем вариантам представляются в табличной форме (таблица 5.1). Помимо значений  $Q$  определяются и вносятся в таблицу значения абсолютного ( $\Delta Q$ ) и относительного ( $\Delta Q/Q$ , %) изменения массы состава.

По данным таблицы 5.1 можно построить кривые  $Q = f(\Delta \omega_0'' / \omega_0'')$  при разных  $i_p$ . Однако наибольший интерес для оценки результатов исследования представляют кривые, выражающие относительное изменение массы состава  $\Delta Q/Q$  от степени увеличения или уменьшения основного сопротивления  $\pm \Delta \omega_0'' / \omega_0''$  (рисунок 5.1). Указанные кривые при всех значениях  $i_p$  строятся на одном чертеже.

Т а б л и ц а 5.1 – Характеристики изменения массы состава при изменении основного сопротивления

Исходное  $\omega_0'' =$

$\alpha$	$i_p =$			$i_p =$			$i_p =$		
	$Q, т$	$\pm \Delta Q, т$	$\pm \Delta Q/Q, \%$	$Q, т$	$\pm \Delta Q, т$	$\pm \Delta Q/Q, \%$	$Q, т$	$\pm \Delta Q, т$	$\pm \Delta Q/Q, \%$
1,5									
1,4									
...									
1,0									
0,9									
...									
0,6									
0,5									

На основе анализа очертаний кривых  $\Delta Q/Q = f(\Delta \omega_0'' / \omega_0'')$  необходимо, во-первых, дать количественную оценку изменения массы состава с изменением основного сопротивления, во-вторых, отметить влияние руководящего уклона на исследуемое изменение массы состава.

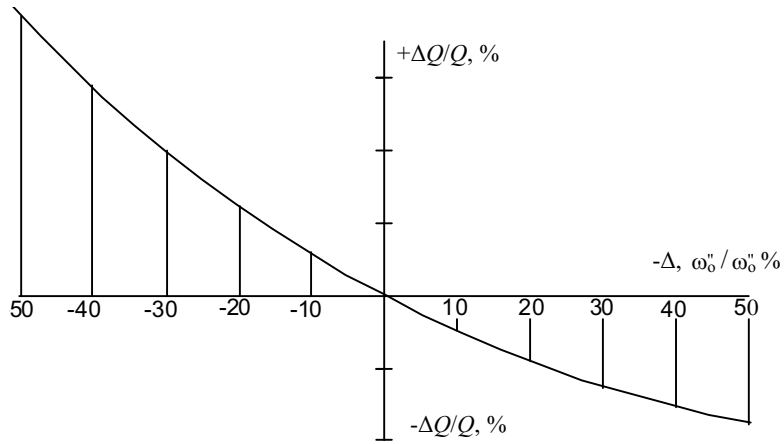


Рисунок 5.1 – Относительное изменение массы состава при изменении основного сопротивления

## 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КАССЫ СОСТАВА, ОГРАНИЧЕННОЙ УСЛОВИЯМИ ТРОГАНИЯ С МЕСТА, ОТ МАССЫ ВАГОНА, ПРИХОДЯЩЕЙСЯ НА ОСЬ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ

Масса состава, ограниченная условиями трогания с места, может быть определена по формуле

$$Q_{\text{тр}} = F_{\text{ктр}} / (\omega_{\text{тр}} + i_{\text{тр}}) - P. \quad (6.1)$$

Как видно из формулы, при данном типе локомотива  $Q_{\text{тр}}$  зависит от удельного сопротивления состава при трогании с места на площадке  $\omega_{\text{тр}}$  и величины приведенного уклона  $i_{\text{тр}}$ , на котором происходит трогание с места.

В свою очередь, удельное сопротивление состава при трогании с места  $\omega_{\text{тр}}$  зависит от массы вагона, приходящейся на ось колесной пары  $q_0$ .

Например, для подвижного состава, оборудованного роликовыми подшипниками (подшипниками качения),

$$\omega_{\text{тр}} = 28 / (q_0 + 7). \quad (6.2)$$

Исследование выполняется применительно к серии локомотива, указанной в задании на выполнение курсовой работы. Расчеты следует выполнить в предположении, что все вагоны оборудованы роликовыми подшипниками. Вариантные расчеты  $Q_{\text{тр}}$  рекомендуется произвести при следующих значениях массы вагона, приходящейся на ось  $q_0$ : 15; 20 и 25 т/ось. Чтобы учесть влияние на  $Q_{\text{тр}}$  величины уклона  $i_{\text{тр}}$ , исследование рекомендуется выполнить при нескольких значениях уклона  $i_{\text{тр}}$ : 0; +2,5; +5; +8 ‰.

Все результаты вариантных расчетов следует представить в табличной форме. По результатам исследования, должны быть построены кривые  $Q_{тр} = f(q_0)$  для принятых в расчетах значений  $i_{тр}$  и оценены абсолютные и относительные изменения  $Q_{тр}$  с изменением  $q_0$  при различных значениях  $i_{тр}$ .

### **7 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МАССЫ СОСТАВА, ОГРАНИЧЕННОЙ ПОЛЕЗНОЙ ДЛИНОЙ ПРИЕМООТПРАВОЧНЫХ ПУТЕЙ, ОТ ПОГОННОЙ НАГРУЗКИ**

Масса состава, ограниченная полезной длиной приемоотправочных путей, может быть определена по формуле

$$Q_{по} = q_{пн}(l_{по} - 50). \quad (7.1)$$

Как видно из формулы, при данной длине приемоотправочных путей  $l_{по}$  масса состава  $Q_{по}$  зависит от погонной нагрузки состава  $q_{пн}$ . Значение  $q_{пн}$  применительно структуре и весовым характеристикам вагонов, указанным в задании на выполнение курсовой работы, может быть определено по формуле

$$q_{пн} = l / (\sum \beta_i [l_{в(i)} / q_i]), \quad (7.2)$$

где  $\beta_i$  – удельные веса (в долях единицы) вагонов данной категории в составе;

$l_{в(i)}$  – длина вагона данной категории, м;

$q_i$  – масса брутто вагона данной категории, т.

Исследование выполняется при следующих значениях полезной длины приемоотправочных путей  $l_{по}$ : 850; 1050; 1700 и 2100 м. Чтобы проанализировать влияние погонной нагрузки  $q_{пн}$  на массу состава  $Q_{по}$ , расчеты рекомендуется выполнить не только при  $q_{пн}$ , подсчитанной применительно к структуре и весовым характеристикам вагонов, принятым в курсовой работе, но и при  $q_{пн}$ , равной 4; 6; 8 и 10 т/м.

Результаты вычислений по всем вариантам расчетов (при всех рассмотренных значениях  $l_{по}$  и  $q_{пн}$ ) следует представить в табличной форме.

По результатам исследования должна быть изображена зависимость  $Q_{по} = f(q_{пн})$  для принятых в расчетах значений полезной длины приемоотправочных путей. Кроме того, необходимо оценить абсолютное и относительное изменение  $Q_{по}$  с изменением погонной нагрузки при различных длинах приемоотправочных путей.

### **8 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИВЫХ МАЛОГО РАДИУСА НА МАССУ СОСТАВА**

При движении локомотива в кривых малого радиуса ( $R \leq 500$  м) из-за увеличения проскальзывания колес уменьшается расчетный коэффициент сцепления. Уменьшение сцепления приводит к соответствующему умень-

шению расчетной силы тяги локомотива. Если кривые малых радиусов совпадают в профиле с ограничивающим подъемом, то уменьшение силы тяги должно быть компенсировано либо уменьшением массы состава, либо уположением (смягчением) ограничивающего подъема.

Вопросы уположения ограничивающих подъемов рассматриваются в разделе курса "Продольный профиль и план железных дорог".

Данное исследование рекомендуется выполнять в такой последовательности:

1 Определить массу состава из условия равномерного движения поезда по руководящему подъему с расчетной скоростью по формуле

$$Q = [F_{кр} - (\omega_0 + i_p)P] / (\omega_0'' + i_p). \quad (8.1)$$

Расчеты выполняются применительно к серии электровоза, указанной в задании на выполнение курсовой работы. Значение основного удельного средневзвешенного сопротивления состава  $\omega_0''$  следует принять то, которое соответствует структуре и весовым характеристикам вагонов, по тому же заданию. Исследование выполняется при руководящем уклоне  $i_p$  от 4 до 20 ‰ с интервалом в 4 ‰. Точность подсчетов – до 1 т.

2 Подсчитать при расчетной скорости для заданной серии электровоза коэффициент сцепления в кривых по формуле

$$\Psi_{кр} = \Psi_k k_{кр}, \quad (8.2)$$

где  $\Psi_k$  – расчетный коэффициент сцепления, определяемый по формулам, приведенным в ПТР, в зависимости от серии электровоза;

$k_{кр}$  – коэффициент уменьшения расчетного коэффициента сцепления в кривых малого радиуса;

$$k_{кр} = (250 + 1,55R) / (500 + 1,1R). \quad (8.3)$$

При разных значениях радиуса кривой  $R$  (следует принять  $R$  равным от 200 до 500 м с интервалом 100 м).

3 Определить силу тяги локомотива для принятых в исследовании значений радиуса кривой по формуле

$$F_{кр} = 1000P\Psi_{кр}. \quad (8.4)$$

4 Подсчитать массу состава из условия движения в кривых малого радиуса по формуле

$$Q_{кр} = [F_{кр} - (\omega_0' + i_p)P] / (\omega_0'' + i_p). \quad (8.5)$$

5 Определить значения абсолютного уменьшения массы состава в кривых малого радиуса по формуле

$$\Delta Q = Q - Q_{кр}. \quad (8.6)$$

6 Подсчитать значения относительного уменьшения массы состава в кривых малого радиуса по формуле

$$\delta Q = (\Delta Q / Q) \cdot 100. \quad (8.7)$$

Результаты вычислений по всем вариантам (при всех рассмотренных значениях  $i_p$  и  $R$ ) следует представить в форме таблицы.

7 Построить кривые, выражающие зависимость массы состава  $Q_{кр}$  при разных  $i_p$  от радиуса кривой, т.е. кривые  $Q_{кр} = f(R)$ , и кривые, выражающие зависимость относительного уменьшения массы состава  $\delta Q$  при разных  $i_p$  от радиуса кривой, т.е. кривые  $\delta Q = f(R)$ , а также сформулировать выводы по результатам исследования.

## 9 СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАССЫ СОСТАВА, ПОЛУЧЕННЫХ ПО РАЗНЫМ ФОРМУЛАМ

Исходя из условия равномерного движения поезда по руководящему подъему с расчетной скоростью масса состава определяется по формуле (8.1). Ее можно определить и по приближенной формуле

$$Q' = F_{кр} / (\omega_0'' + i_p) - P. \quad (9.1)$$

В литературе, посвященной вопросам определения массы состава, отмечается, что формула (9.1) дает приближенные значения массы состава из-за того, что в ней принято  $\omega_0 = \omega_0''$ .

Данное исследование выполняется применительно к тем типам вагонов, конструкции пути, типу локомотива и трем значениям руководящего уклона, которые указаны в задании на выполнение курсовой работы.

Результаты расчетов  $Q$  по формуле (8.1) и  $Q'$  по формуле (9.1) следует представить в табличной форме (таблице 9.1). Подсчеты массы состава  $Q$  и  $Q'$  следует производить с точностью до 1 т.

Т а б л и ц а 9.1 – Результаты определения массы состава по формулам (8.1) и (9.1)

$i_p$	$Q$ , т	$Q'$ , т	$\delta Q$ , %

В этой же таблице следует указать относительную погрешность  $\delta Q$ , допускаемую при использовании в расчетах формулы (9.1),

$$\delta Q = [(Q' - Q)/Q] \cdot 100. \quad (9.2)$$

Как результат исследования должны быть построены на одном чертеже кривые

$$Q = f(i_p); \quad Q' = f(i_p) \quad \text{и} \quad \delta Q = f(i_p). \quad (9.3)$$

Кроме того, необходимо оценить абсолютную и относительную погрешности в определении массы состава по приближенной формуле при различных значениях руководящего уклона.

## 10 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ НА МАССУ СОСТАВА ПРИ ТЕПЛОВОЗНОЙ ТЯГЕ

Уменьшение мощности дизеля тепловоза должно быть учтено при определении массы состава для районов, где атмосферные условия отличаются от стандартных.

Значения расчетной силы тяги тепловозов, приведенные в [1, таблица 23], относятся к стандартным атмосферным условиям:  $t_{\text{нв}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $H_{\text{бар}} = 760 \text{ мм рт. ст.}$

Расчетная сила тяги тепловозов при атмосферных условиях, отличающихся от стандартных,

$$F_{\text{кр}}^{\text{нс}} = F_{\text{кр}}(1 - k_t - k_p), \quad (10.1)$$

где  $F_{\text{кр}}$  – расчетная сила тяги тепловозов при стандартных атмосферных условиях [1, таблица 23];

$k_t$  – коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения температуры наружного воздуха;

$k_p$  – коэффициент, учитывающий снижение мощности дизеля от изменения атмосферного давления.

Значения коэффициентов  $k_t$  и  $k_p$  приведены в ПТР [1, таблицы 25 и 26]. Для промежуточных значений температуры наружного воздуха и атмосферного давления значения коэффициентов  $k_t$  и  $k_p$  определяют методом интерполяции.

Масса состава при тепловозной тяге в атмосферных условиях, отличающихся от стандартных,

$$Q = [F_{\text{кр}}^{\text{нс}} - (\omega_0' + i_p)P] / (\omega_0'' + i_p). \quad (10.2)$$

Данное исследование выполняется применительно к тем типам вагонов и к той конструкции пути, которые указаны в задании на выполнение курсовой работы. Тип локомотива и расчетное значение руководящего уклона также принимаются по заданию на выполнение курсовой работы.

Вариантные расчеты  $Q$  рекомендуется выполнить при следующих значе-

ниях температуры наружного воздуха: 20; 25; 30; 35 и 40 °С и стандартном атмосферном давлении 760 мм рт. ст.

Так как масса состава (мощность дизеля тепловоза) зависит не только от температуры наружного воздуха, но и от атмосферного давления, то с целью выявления влияния температуры наружного воздуха на массу состава при различных значениях атмосферного давления расчеты следует произвести при нескольких значениях атмосферного давления: 760; 740; 720; 700 и 680 мм рт. ст.

Результаты вычислений по всем вариантам (при всех рассмотренных значениях температуры наружного воздуха и атмосферного давления) следует представить в табличной форме.

Как результат исследования должны быть построены кривые  $Q = f(t_{\text{нв}})$  при принятых в расчетах значениях атмосферного давления, и, кроме того, должна быть дана оценка абсолютного и относительного изменений массы состава  $Q$  с изменением температуры наружного воздуха  $t_{\text{нв}}$ . При этом следует также оценить влияние атмосферного давления  $H_{\text{бар}}$  на массу состава  $Q$ .

## 11 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛИНЫ СОСТАВА ОТ ДОЛИ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ ВАГОНОВ

Исследование выполняют в предположении, что состав поезда формируется из двух групп вагонов, например, из 4 - и 6 - осных или из 4 - и 8 - осных, или из 6 - и 8 - осных.

Обозначим длину одного вагона каждой группы  $l_i$  и  $l_k$ , массу одного вагона – соответственно  $q_i$  и  $q_k$ , а число вагонов в составе –  $n_i$  и  $n_k$ . Пусть индекс "k" относится к большегрузным вагонам. При указанных обозначениях длина состава

$$L = n_i l_i + n_k l_k \quad (11.1)$$

или

$$L = (\beta_i Q / q_i) l_i + (\beta_k Q / q_k) l_k = Q [(\beta_i / q_i) l_i + (\beta_k / q_k) l_k], \quad (11.2)$$

где  $\beta_i$  и  $\beta_k$  – весовые доли вагонов каждой группы в составе.

Заменив в формуле (11.2) весовые доли  $\beta$  количественным соотношением вагонов  $\gamma$  с использованием формулы (2.2), получим

$$L = Q(\gamma_i l_i + \gamma_k l_k) / (\gamma_i q_i + \gamma_k q_k). \quad (11.3)$$

Для дальнейших расчетов преобразуем формулу (11.3) следующим образом. Так как  $\gamma_i + \gamma_k = 1$ , то  $\gamma_i = 1 - \gamma_k$ , и тогда

$$L = Q[(1 - \gamma_k) l_i + \gamma_k l_k] / [(1 - \gamma_k) q_i + \gamma_k q_k] = Q[l_i + \gamma_k(l_k - l_i)] / [q_i + \gamma_k(q_k - q_i)] \quad (11.4)$$

или

$$L = Q\{l_i[1 + k_k(l_k/l_i - 1)] / \{q_i[1 + \gamma_k(q_k/q - 1)]\}.$$



Обозначим  $l_k/l_i = n$  и  $q_k/q_i = m$ , тогда

$$L = Q \{l_i [1 + \gamma_k (n - 1)]\} / \{q_i [1 + \gamma_k (m - 1)]\}. \quad (11.5)$$

Следует обратить внимание на то, что  $n > 1$  и  $m > 1$  и что всегда  $m > n$  (по сравнению с вагонами меньшей грузоподъемности у большегрузных вагонов грузоподъемность увеличивается в большей степени, чем их длина).

Если в формуле (11.5) принять  $\gamma_k = 0$  (в составе большегрузные вагоны отсутствуют), то получим максимальную длину состава

$$L_{\max} = Q l_i / q_i. \quad (11.6)$$

При увеличении доли большегрузных вагонов ( $0 < \gamma_k \leq 1$ ) длина состава уменьшится на  $\Delta L = L_{\max} - L$  или, %, на

$$P = (\Delta L / L_{\max}) \cdot 100 = (1 - L / L_{\max}) \cdot 100. \quad (11.7)$$

Подставляя в это выражение значения  $L$  и  $L_{\max}$  по формулам (11.5) и (11.6), получим после преобразований

$$P = \{[\gamma_k (m - n)] / [1 + \gamma_k (m - 1)]\} \cdot 100 \quad (11.8)$$

Как следует из формулы (11.8), при отсутствии в составе большегрузных вагонов ( $\gamma_k = 0$ )  $P = 0$ . Максимальное уменьшение длины состава при увеличении доли большегрузных вагонов (при  $\gamma_k = 1$ ), %,

$$P_{\max} = (1 - m / n) \cdot 100. \quad (11.9)$$

Для количественной оценки эффекта в уменьшении длины состава при увеличении доли большегрузных вагонов необходимо выполнить варианты расчеты по формуле (11.8) при разных  $m$ ,  $n$  и  $\gamma_k$  а затем построить кривые  $P = f(\gamma_k)$ .

Можно в расчетах принять те значения  $m$  и  $n$ , которые соответствуют структуре вагонов в задании к курсовой работе. Однако исследование будет более содержательным, если выполнить следующее:

- 1) на основе изучения по справочникам характеристик всех грузовых вагонов найти значения  $m$  и  $n$  при различных сочетаниях;
- 2) отобрать парк значений  $m$  и  $n$ , при которых эффект в сокращении длины при увеличении  $\gamma_k$  будет наибольшим (при  $n_{\min}$  и  $m_{\max}$ ) и наименьшим (при  $n_{\max}$  и  $m_{\min}$ ). В обоих случаях надо определить  $P_{\max}$  по формуле (11.9);
- 3) для выбранных сочетаний  $m$  и  $n$  подсчитать по формуле (11.8) значения  $P$ . Результаты вычисления свести в таблицу (таблица 11.1);
- 4) построить кривые  $P = f(\gamma_k)$  соответствующие наибольшему и наименьшему эффекту в уменьшении длины состава при увеличении  $\gamma_k$  (рисунок 11.1).

Т а б л и ц а ь 11.1 – Значения  $P$

$m, n$	Значения $P, \%$ при $\gamma_k$					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$m=, n=$						
$m=, n=$						

При необходимости можно выполнить подсчеты и построить кривые  $P = f(\gamma_k)$ , занимающие на рисунке 11.1 промежуточное положение.

В заключение следует привести примеры практического использования кривых  $P = f(\gamma_k)$ . В исследовании, методика которого изложена выше, определяется характер относительного изменения длины состава. Вместе с тем при решении некоторых задач, связанных с проектированием железных дорог, необходимо знать абсолютные значения длины состава при той или иной структуре вагонов.

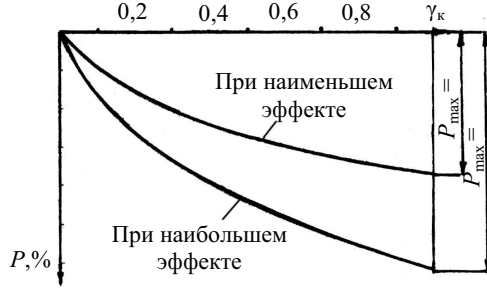


Рисунок 11.1 – Относительное уменьшение длины состава при увеличении доли большегрузных вагонов – кривые  $P = f(\gamma_k)$

В общем случае для определения длины состава  $L$  может быть использована формула (11.3), которая при любом количестве групп вагонов с равными характеристиками принимает вид

$$L = Q \left[ \sum_i^k \gamma_i l_i \right] / \left[ \sum_i^k \gamma_i q_i \right], \quad (11.10)$$

где  $k$  – число вагонов в составе;  
 $\gamma_i, l_i, q_i$  – характеристики вагонов  $i$ -й группы.

Из формулы (11.10) следует, что длина состава пропорциональна коэффициенту

$$\alpha = \left[ \sum_i^k \gamma_i l_i \right] / \left[ \sum_i^k \gamma_i q_i \right], \quad (11.11)$$

тогда

$$L = Q\alpha. \quad (11.12)$$

Для определения значений  $\alpha$  рекомендуется построить номограмму (рисунок 11.2), по оси абсцисс которой разместить  $\sum_i^k \gamma_i l_i$ , а по оси ординат – значения  $\alpha$ . Серии прямых линий на номограмме должны соответствовать различным значениям  $\sum_i^k \gamma_i q_i$ . На основе анализа характеристик всех грузовых вагонов (длины и массы при полном использовании грузоподъемности) нетрудно установить предельные количественные значения  $\sum_i^k \gamma_i l_i$  и  $\sum_i^k \gamma_i q_i$ .

Для практических расчетов удобна номограмма, дополненная вторым квадрантом с размещением в нем серии прямых, соответствующих различным значениям массы состава  $Q$ . Тогда по ней можно сразу получить искомое значение длины состава  $L$  (на рисунке 11.2 последовательность отсчетов показана пунктиром со стрелками).

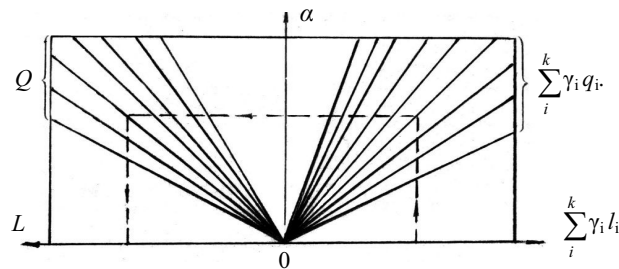


Рисунок 11.2 – Примерный вид номограммы для определения длины состава

## 12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ, ДОПУСКАЕМОЙ ПО ТОРМОЗАМ НА СПУСКАХ, ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТОРМОЗНОГО КОЭФФИЦИЕНТА

Характер зависимости скорости, допускаемой по тормозам, от тормозной вооруженности поезда известен: чем сильнее тормозные средства, тем выше уровень допускаемой скорости. Количественная оценка указанной зависимости и является целью исследования.

Методика его выполнения не отличается от решения задачи по установлению допускаемой скорости по тормозам  $v_n$ , предусмотренной заданием к курсовой работе. Надо лишь определить  $v_n$  при нескольких вариантах тормозной вооруженности поезда. А это определяет следующий порядок расчетов и построений:

1 Принимаются три значения расчетного тормозного коэффициента  $v_p$ . В качестве исходного можно принять значение  $v_p$ , полученное в курсовой работе при подсчете тормозных сил. Два других определяются увеличением

и уменьшением исходного на 0,05.

2 Подсчитываются удельные равнодействующие силы, действующие на поезд при экстренном торможении, т.е. определяются значения  $\omega_{ок} + b_{т}$ .

3 Применительно к спуску  $i$ , равному  $i_p$  (по заданию к курсовой работе), с использованием диаграмм удельных равнодействующих сил  $\omega_{ок} + b_{т} = f(v)$ , строятся тормозные кривые  $V = f(S)$  при всех трех значениях тормозного коэффициента  $\nu_p$  (рисунок 12.1) (напомним, что при указанных построениях обязательным является соблюдение известной зависимости между масштабами удельных сил, скорости и пути).

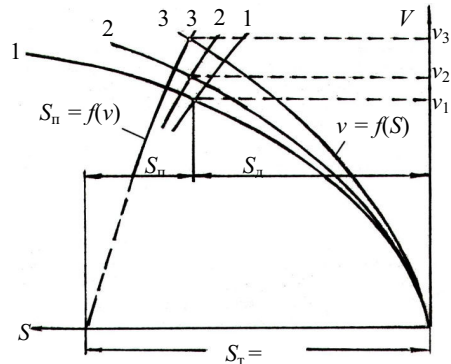


Рисунок 12.1 – Схема определения скорости, допускаемой по тормозам, при различной тормозной вооруженности

4 Подсчитываются значения пути подготовки к торможению  $S_{п}$ , м, и действительного пути торможения  $S_{д}$ , м, с использованием формул

$$S_{п} = 0,278v_{н}t_{п} \text{ и } S_{д} = S_{т} - S_{п}, \quad (12.1)$$

где  $v_{н}$  – начальная скорость торможения, км/ч;

$t_{п}$  – время подготовки к торможению, с;

$S_{т}$  – расчетный тормозной путь, м;

$$t_{п} = 7 - 10i/b_{т} \quad (12.2)$$

при длине состава более 200 осей (до 300 осей)

$$t_{п} = 10 - 15i/b_{т} \quad (12.3)$$

где  $i$  – величина спуска, ‰ (в формулы (12.2), (12.3) подставляется со знаком минус).

В расчетах рекомендуется принять  $v_{н} = 60; 80$  и  $100$  км/ч, а  $S_{т} = 1000$  м (или 1200 м).

5 Строятся кривые  $S_{п} = f(v)$  – на том же чертеже и в тех же масштабах, что и кривые  $v = f(S)$  (см. рисунок 9.1). По точкам пересечения указанных кривых, соответствующих одним и тем же значениям расчетного тормозного коэффициента  $\nu_p$ , и определяются искомые значения скорости –  $v_1, v_2, v_3$ .

В заключение необходимо построить кривую  $v = f(\nu_p)$  и оценить абсолютное и относительное изменения скорости, допускаемой по тормозам, с изменением тормозного коэффициента.

### 13 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ, ДОПУСКАЕМОЙ ПО ТОРМОЗАМ, ОТ ДЛИНЫ ТОРМОЗНОГО ПУТИ

При выполнении курсовой работы скорости, допускаемые по тормозам на различных спусках, определяются применительно к фиксированному значению расчетного тормозного пути  $S_T$ . Для целей данного исследования надо произвести дополнительные расчеты и построения еще для двух значений  $S_T$ , больше и меньше принятого в работе на 200 – 300 м, но при тех же тормозных средствах и тех же значениях уклонов (спусков).

Указанные дополнительные построения следует выполнить на общем чертеже. Подсчеты действительного пути торможения  $S_d$  при новых значениях  $S_T$  рекомендуется выполнить в табличной форме.

Следует обратить внимание на то, что при определении  $S_d$  по формуле (12.1) величина  $S_{II}$  при всех вариантах  $S_T$  остается неизменной. Она меняется лишь с изменением принятых в расчетах значений начальной скорости  $v_n$  и величины спуска  $i$  [см. формулы (12.1) – (12.3)].

Как результат исследования, должны быть построены кривые  $v = f(S_T)$  для разных спусков (ориентировочный вид этих кривых показан на рисунке 13.1) и оценены абсолютное и относительное изменения скорости, допускаемой по тормозам, с изменением длины расчетного тормозного пути.

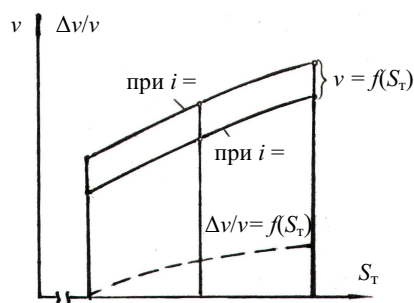


Рисунок 13.1 - Кривые  $v = f(S_T)$

### 14 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ХОДА, МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СИЛЫ ТЯГИ ЛОКОМОТИВА И РАСХОДА ТОПЛИВА (ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ) ОТ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ

Работа выполняется группой из 3 – 4 человек. Каждый студент производит комплекс тяговых расчетов, предусмотренный заданием на курсовую

работу, т.е. определяет время хода поезда  $t_x$ , механическую работу силы тяги локомотива  $R_m$  и расход топлива  $E$  (или электроэнергии  $A$ ) при разных значениях максимальной скорости  $v_{max}$ , но при одинаковых других исходных данных: руководящем уклоне, профиле перегона и характеристиках вагонов (возможны небольшие различия в массе тары и грузоподъемности вагонов, не влияющие на очертание кривой скорости). В качестве вариантов  $v_{max}$  принимается 100; 90; 80 и 70 км/ч.

Полученные значения  $t_x$ ,  $R_m$ ,  $E(A)$  при разных  $v_{max}$  заносятся в таблицу (таблица 14.1), где указывается фамилия исполнителя. Там же приводятся подсчитанные абсолютные и относительные (в процентах) размеры увеличения времени хода  $\Delta t_x$ , механической работы силы тяги локомотива  $\Delta R_m$  и расхода топлива (электроэнергии)  $\Delta E$  ( $\Delta A$ ) при уменьшении  $v_{max}$ .

За исходные значения принимаются  $t_x$ ,  $R_m$ ,  $E(A)$  при  $v_{max} = 100$  км/ч.

Как итоговый документ исследования строятся зависимости  $\Delta t_x = f(v_{max})$ ,  $\Delta R_m = f(v_{max})$  и  $E(A) = f(v_{max})$  (рисунок 14.1).

**Т а б л и ц а 14.1 – Время хода, механическая работа силы тяги локомотива и расход топлива (электроэнергии) при разных значениях максимальной скорости**

Фамилия, имя, отчество исполнителя	$v_{max}$ км/ч	Время хода			Механическая работа			Расход топлива		
		$t_x$ , мин	$\Delta t_x$ , мин	$\Delta t_x$ , %	$R_m$ , тс-км	$\Delta R_m$ , тс-км	$\Delta R_m$ , %	$E$ , кг	$\Delta E$ , кг	$E$ , %
Петров И.Н.	90		—	—		—	—		—	—
Новиков С.Ф.	...									
.....	...									

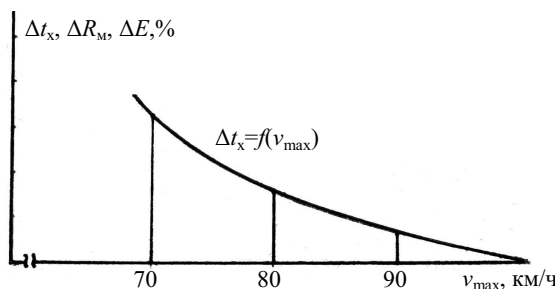


Рисунок 14.1 – Кривые  $\Delta t_x = f(v_{max})$ ,  $\Delta R_m = f(v_{max})$ ,  $\Delta E = f(v_{max})$ .

### Список литературы

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М., 1985. – 287 с.
- 2 *Гребенюк П.Т., Долганов А. Н., Скворцова А.И.* Тяговые расчеты: Справочник / Под ред. *П.Т. Гребенюка.* – М., 1987. – 272 с.
- 3 Изыскания и проектирование железных дорог: Учебник для вузов железнодорожного транспорта / *И.В. Турбин, А.В. Гавриленков, И.И. Кантор* и др.; Под ред. *И.В.Турбина.* М., 1989. – 479 с.
- 4 *Горинов А.В., Кантор И.И., Кондратченко А.Л., Репрев А.И., Турбин И.В.* Проектирование железных дорог: Учеб. пособие для вузов железнодорожного транспорта / Под ред. *А.В. Горинова* М., 1963. – 308 с.
5. *Кантор И.И.* Продольный профиль пути и тяга поездов. М., 1984. – 207 с .
- 6 *Акимов В.И., Вербилко В. А., Довгелюк Н.В,* Тяговые расчеты при электровозной и тепловозной тяге: Учеб. пособие. – Гомель, 1990. – 66 с.
- 7 *Шульпенков В.М.,* Учебные исследования при выполнении курсовой работы по тяговым расчетам: Учебно-методическое пособие. Гомель,1981. – 20 с.