

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова

## **Методические указания**

к выполнению расчетно-графических и практических заданий  
по дисциплине «Изыскания и проектирование железных дорог»  
для студентов специальности 271501.65 – Строительство железных  
дорог, мостов и транспортных тоннелей

Белгород  
2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова  
Кафедра автомобильных и железных дорог

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

## **Методические указания**

к выполнению расчетно-графических и практических заданий  
по дисциплине «Изыскания и проектирование железных дорог»  
для студентов специальности 271501.65 – Строительство железных  
дорог, мостов и транспортных тоннелей

Белгород  
2013

УДК 625 (07)  
ББК 39.20 я 7  
М54

Составители: ст. преп. А.С. Погромский  
канд. техн. наук, доц. С.А. Гнездилова  
Рецензент канд. техн. наук, доц. А.А. Логвиненко

**Методические указания к выполнению расчетно-графиче-  
М54 ских и практических заданий / сост.: А.С. Погромский,  
С.А. Гнездилова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 13 с.**

В методических указаниях рассмотрены основные вопросы, решаемые при выполнении тяговых расчетов: расчеты основного удельного сопротивления движению локомотива и вагонного состава, расчеты массы и длины состава и поезда, расчеты удельных тормозных сил поезда и др.

Методические указания предназначены для студентов специальности 271501.65 – Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей.

Издание публикуется в авторской редакции.

УДК 625 (07)  
ББК 39.20 я 7

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2013

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ**

Расчетно-графическое выполняется для закрепления знаний по выполнению тяговых расчетов, полученных в ходе изучения дисциплины «Изыскания и проектирование железных дорог». Оно предусматривает использование всего комплекса полученных знаний студентами и преследует цель выполнения расчетов основного удельного сопротивления движению локомотива и вагонного состава, расчетов массы и длины состава и поезда, расчетов удельных тормозных сил поезда и других расчетов, составляющих комплекс тяговых.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ**

Расчетно-графическое задание (РГЗ) состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Расчетно-пояснительная записка содержит следующие разделы:

1. Расчеты основного удельного сопротивления движению локомотива и вагонного состава.
2. Расчеты массы и длины состава и поезда.
3. Расчеты удельных тормозных сил поезда.
4. Расчеты удельных сил тяги.
5. Расчеты удельных равнодействующих сил.
6. Расчеты скорости поезда.
7. Расчеты времени хода поезда.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ**

Пояснительная записка к РГЗ должна состоять из титульного листа, задания на проектирование, содержания, текста пояснительной записки (объемом 10–15 с), списка литературы и приложений. Пояснительная записка с необходимыми расчетами, таблицами и выводами должна быть написана на стандартных листах бумаги формата А4 и оформлена в соответствии с действующим ЕСКД. Формулы приводятся с пояснениями всех символов и с последующей подстановкой величин, указываются размерности всех величин. Страницы пояснительной записки подлежат сквозной нумерации. Ссылки на литературу в тексте записки указываются в квадратных скобках. Список литературы составляется в порядке ее использования.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОМУ ЗАДАНИЮ

Исходными данными являются:

- а) план и продольный профиль участка;
- б) данные по подвижному составу;
- в) характеристика верхнего строения пути.

### ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

1. Кривые расчетной силы тяги для заданного локомотива.
2. Диаграммы ускоряющих и замедляющих сил для заданного локомотива.
3. График ограничения скоростей по тормозам на различных уклонах.
4. Кривые скорости и времени хода как функции пути.

### СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

#### 1. Расчеты основного удельного сопротивления движению локомотива и вагонного состава

Основным документом для выполнения тяговых расчетов являются Правила тяговых расчетов для поездной работы (ПТР) [1].

Основное удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги  $\omega'_0$  и холостого хода  $\omega_x$  для звеньев и бесстыкового пути определяется по формулам (13-18) ПТР в интервале скоростей от 0 до 100 км/ч.

Основное средневзвешенное удельное сопротивление вагонного состава определяют в следующем порядке:

1. Определяют массу брутто вагонов по формуле:

$$q_{бр} = q_m + \beta \cdot q_{сп}, \quad (1.1)$$

где  $q_m$  - масса тары вагона, т;  $q_{сп}$  - грузоподъемность вагона, т;  $\beta$  - коэффициент полногрузности.

2. Находят массу, приходящуюся на ось вагона:

$$q_o = q_{бр} / m, \quad (1.2)$$

где  $m$  – число осей вагона.

3. Вычисляют основное удельное сопротивление движению вагона:

$$\omega_0'' = a + \frac{b + c \cdot v + d \cdot v^2}{q_0}, \quad (1.3)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  – коэффициенты;  $v$  – скорость движения поезда.

4. Находят долю вагонов  $i$ -той категории в составе по массе:

$$\alpha_i = \frac{\gamma_i \cdot q_{\text{сп}(i)}}{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot q_{\text{сп}(i)}}, \quad (1.4)$$

где  $\gamma_i$  – количество вагонов категории  $i$  в составе, %;  $n$  – количество категорий вагонов в составе.

Проверка правильности вычисления  $\alpha_i$ :

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (1.5)$$

5. Определяют основное средневзвешенное удельное сопротивление вагонного состава, включающего  $k$  категорий вагонов:

$$\omega_0'' = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \omega_{0(i)}'' . \quad (1.6)$$

Основное средневзвешенное удельное сопротивление вагонного состава определяют в интервале скоростей от 0 до 100 км/ч. Результаты расчетов необходимо привести в табличной форме.

## 2. Расчет массы и длины состава и поезда

В зависимости от характера профиля пути данного участка расчет массы состава грузового поезда выполняют исходя из условий безостановочного движения: по расчетному подъему с равномерной скоростью; по труднейшим подъемам с неравномерной скоростью с учетом использования кинетической энергии поезда.

Масса состава определяется по формуле:

$$Q = \frac{F_{\text{кр}} - P \cdot g \cdot (\omega_0' + i_p)}{(\omega_0'' + i_p) \cdot g}, \quad (2.1)$$

где  $F_{\text{кр}}$  – расчетная сила тяги локомотива, Н;  $P$  – масса локомотива, т;  $g$  – ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $i_p$  – руководящий уклон, ‰;  $\omega_0'$  и  $\omega_0''$  – соответственно удельное сопротивление локомотива и состава при расчетной скорости, Н/кН.

Масса поезда определяется как сумма массы состава и массы локомотива.

Масса состава проверяется по условию трогания поезда с места. Масса состава  $Q$  должна быть не больше массы состава при трогании с места:

$$Q_{mp} = \frac{F_{\kappa(mp)}}{(\omega_{mp} + i_p) \cdot g} - P, \quad (2.2)$$

где  $F_{\kappa(mp)}$  – касательная сила тяги при трогании с места, Н;  $\omega_{mp}$  – удельное средневзвешенное сопротивление состава при трогании с места, Н/кН;  $i_p$  – уклон профиля раздельного пункта, ‰.

$$\omega_{mp} = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \omega_{mp(i)}, \quad (2.3)$$

где  $\omega_{mp(i)}$  – удельное средневзвешенное сопротивление при трогании с места вагона  $i$ -й категории, Н/кН, определяемое по формуле:

$$\omega_{mp(i)} = \frac{28}{q_{o(i)} + 7}. \quad (2.4)$$

Далее необходимо проверить выполнение условия:

$$Q_{mp} > Q. \quad (2.5)$$

Длина состава:

$$l_c = \sum_{i=1}^k n_i \cdot l_i, \quad (2.6)$$

где  $n_i$  – число вагонов  $i$ -й категории;  $l_i$  – длина вагона  $i$ -й категории, м.

$$n_i = \frac{Q \cdot \alpha_i}{q_{\text{бр}(i)}}. \quad (2.7)$$

Длина поезда:

$$l_n = l_c + m_n \cdot l_n, \quad (2.8)$$

где  $m_n$  – число локомотивов;  $l_n$  – длина локомотива, м.

Потребная длина прямо-отправочных путей:

$$l_{no(номр)} = l_n + 10, \quad (2.9)$$

где 10 м – допуск на установку поезда на раздельном пункте.

### 3. Расчеты удельных тормозных сил поезда

Удельная тормозная сила поезда, Н/кН:

$$b_{\tau} = 1000 \varphi_{\text{кр}} \cdot \vartheta_p, \quad (3.1)$$

где  $\varphi_{\text{кр}}$  – расчетный коэффициент трения;  $\vartheta_p$  – расчетный тормозной коэффициент поезда.

Для чугунных стандартных колодок:

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{v+100}{5v+100}, \quad (3.2)$$

для композиционных колодок:

$$\varphi_{кр} = 0,36 \frac{v+150}{2v+150}. \quad (3.3)$$

$$\vartheta_p = \frac{\sum K_p}{(Q+P) \cdot g}, \quad (3.4)$$

где  $\sum K_p$  - суммарное тормозное нажатие, кН.

$$\sum K_p = m_n \cdot K_{p(n)} + K_{p(n)} \cdot \sum n_i m_i, \quad (3.5)$$

где  $m_n$  – число тормозных осей локомотива;  $\sum n_i m_i$  - число осей в составе.

Расчетные силы нажатия  $K_p$  чугунных тормозных колодок локомотивов и грузовых вагонов:

- грузовые вагоны – 69 кН;
- электровозы – 137 кН;
- тепловозы – 118 кН.

Учетные массы и число тормозных осей локомотивов приведены в ПТР.

Значения удельных тормозных сил необходимо определить для заданного интервала скоростей и привести в табличной форме.

#### 4. Расчеты удельных сил тяги

Удельные силы тяги:

$$f_k = \frac{F_k}{(P+Q) \cdot g}, \quad (4.1)$$

где  $F_k$  – касательная сила тяги, Н, принимаемая по тяговым характеристикам локомотивов, приведенным в ПТР, в зависимости от скорости движения.

Значения удельных сил тяги необходимо определить для заданного интервала скоростей и привести в табличной форме вместе с касательной силой тяги.

## 5. Расчеты удельных равнодействующих сил

Удельные равнодействующие силы  $r_0$  рассчитывают на прямом горизонтальном участке пути для трех режимов движения поезда: тяги, холостого хода и торможения.

В режиме тяги удельные равнодействующие силы:

$$r_o = f_k - \omega_o. \quad (5.1)$$

Основное удельное сопротивление поезда в режиме тяги:

$$\omega_o = \frac{\omega_o' \cdot P + \omega_o'' \cdot Q}{P + Q}. \quad (5.2)$$

В режиме холостого хода удельные равнодействующие силы:

$$r_o = -\omega_{ox} = -\frac{\omega_x' \cdot P + \omega_o'' \cdot Q}{P + Q}. \quad (5.3)$$

В режиме торможения удельные равнодействующие силы:

$$r_o = -(\omega_{ox} + \alpha b_m), \quad (5.4)$$

где  $\alpha$  - коэффициент использования тормозной силы ( $\alpha = 1$  при экстренном торможении и  $\alpha = 0,5$  при служебном торможении).

Удельная равнодействующая сила на элементе пути, расположенном на уклоне и в кривой:

$$r_i = r_o - i_k, \quad (5.5)$$

где  $i_k$  – приведенный уклон с учетом знака («+» - подъем, «-» - спуск).

Результаты расчетов удельных равнодействующих сил сводят в таблицу и строят по ним диаграммы.

## 6. Расчеты скорости поезда

Для определения скорости поезда производится спрямление профиля по форме табл. 1.10 [2]. Для облегчения расчетов элементы продольного профиля принято укрупнять, объединяя несколько соседних («спрямление» профиля). Выбираются  $n$  смежных элементов с уклонами одного знака и определяется спрямленный уклон:

$$i_c = \frac{\sum_{j=1}^n i_j \cdot l_j}{\sum_{j=1}^n l_j}, \quad (6.1)$$

где  $i_j$  – уклоны элементов;  $l_j$  – длины элементов, включаемых в спрямляемую группу;  $n$  – число элементов, включаемых в спрямляемую группу.

Спрямление профиля не повлечет за собой искажения результата тяговых расчетов, если будет удовлетворяться условие для каждого из элементов, входящих в спрямляемую группу:

$$l_i \leq 2000 / |i_c - i_j|, \quad (6.2)$$

где  $l_i$  – длина проверяемого элемента;  $|i_c - i_j|$  – абсолютная величина разности между спрямленным уклоном и уклоном проверяемого элемента.

Если хотя бы один из спрямляемых элементов не удовлетворяет этой проверке, необходимо искать другую комбинацию элементов.

Для спрямленного участка профиля определяется приведенный уклон, как сумма спрямленного и эквивалентного сопротивлению от кривой в направлении «туда» и «обратно»:

$$i_{\kappa}^m = i_c + i_{\kappa} = i_c + (12,2 \sum \alpha / L_c), \quad (6.3)$$

$$i_{\kappa}^{обп} = i_c + i_{\kappa} = i_c(-1) + (12,2 \sum \alpha / L_c), \quad (6.4)$$

где  $\sum \alpha$  – сумма углов поворота кривых в пределах спрямленного участка, град;  $L_c$  – длина спрямленного участка, км:

$$L_c = \sum_{j=1}^n l_j. \quad (6.5)$$

Расчеты приведенных уклонов оформляются по форме табл. 1.10 [2].

Скорость поезда рассчитывают для приведенных уклонов. Для расчетов скорости перегон делят на интервалы пути  $\Delta S$ . Длину интервала принимают равной 100-200 м. Скорость поезда  $v_{\kappa}$  (км/ч) в конце интервала  $\Delta S$ :

$$v_{\kappa} = \sqrt{v_n^2 + \xi r_i(v_n) \Delta S}, \quad (6.6)$$

где  $v_i$  – скорость поезда в начале элемента  $\Delta S$ , км/ч;  $\xi$  – коэффициент, принимается равным 120;  $r_i(v_i)$  – удельная равнодействующая сила в начале элемента  $\Delta S$ , Н/кН.

В начале каждого последующего элемента  $\Delta S$  скорость  $v_i$  равна скорости  $v_{\kappa}$  в конце предыдущего элемента.

Удельную равнодействующую силу  $r_i(v_i)$  принимают по построенным ранее диаграммам удельных равнодействующих сил.

Расчеты на тормозном участке проводятся в направлении обратном движению поезда с учетом ограничения скорости движения поезда при проходе стрелки  $v_{оп} = 50$  км/ч.

Перед расчетами скорости следует на каждом элементе установить ограничение по тормозам (на диаграмме скорости изображается штриховыми горизонтальными линиями).

Ограничение скорости по тормозам в учебных проектах допускается определять по эмпирической формуле:

$$v_{\text{тор}} = 88 + 1,25i . \quad (6.7)$$

Значение уклона в формулу (6.7) необходимо подставлять с учетом знака.

Результаты расчетов скорости представляются в виде кривой и по форме табл. 1.11 [2].

## 7. Расчеты времени хода поезда

Время хода на элементе  $\Delta S$ :

$$\Delta t = \frac{60\Delta S}{v_{\text{cp}}} , \quad (7.1)$$

где  $v_{\text{cp}}$  - средняя скорость на элементе  $\Delta S$ , км/ч.

$$v_{\text{cp}} = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} . \quad (7.2)$$

Общее время хода:

$$t = \sum \Delta t . \quad (7.3)$$

Результаты расчетов скорости представляются в виде кривой и по форме табл. 1.13 [2].

## Библиографический список

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
2. Гавриленков, А.В. Изыскания и проектирование железных дорог: Пособие по курсовому и дипломному проектированию / А.В. Гавриленков, Г.С. Переселенков. – М.: Транспорт, 1990. – 167 с.
3. Турбин, И.В. Изыскания и проектирование железных дорог: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / И.В. Турбин, А.В. Гавриленков, И.И. Кантор и др. – М.: Транспорт, 1989. – 479 с.

**Оглавление**

Цель и задачи расчетно-графического задания.....	3
Содержание расчетно-графического задания.....	3
Требования к оформлению расчетно-графического задания.....	3
Исходные данные к расчетно-графического задания.....	4
Перечень графического материала.....	4
Структура пояснительной записки.....	4
1. Расчеты основного удельного сопротивления движению локомотива и вагонного состава.....	4
2. Расчеты массы и длины состава и поезда.....	5
3. Расчеты удельных тормозных сил поезда.....	6
4. Расчеты удельных сил тяги.....	7
5. Расчеты удельных равнодействующих сил.....	8
6. Расчеты скорости поезда.....	8
7. Расчеты времени хода поезда.....	10
Библиографический список.....	10

Учебное издание

## **Методические указания**

к выполнению расчетно-графических и практических заданий  
по дисциплине «Изыскания и проектирование железных дорог»  
для студентов специальности 271501.65 – Строительство железных  
дорог, мостов и транспортных тоннелей

Составители: **Погромский** Алексей Сергеевич  
**Гнездилова** Светлана Александровна

Подписано в печать      Формат 60x84/16.    Усл.печ.л. 0,7.    Уч-изд.л. 0,8.

Тираж 45 экз.    Заказ      Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете  
им. В.Г. Шухова  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46