



ИЗМЕРИТЕЛИ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА СПИРАЧНАТА СИСТЕМА

гл. ас. д-р инж. В. Николов

катедра „Транспортна техника“ ВТУ „Тодор Каблешков“ София



1. Абсолютни измерители

2

- **Спирачен път** – разстоянието, изминато от момента на подаване на команден спирачен импулс до пълното установяване на подвижния състав или до достигане на зададена по-ниска скорост.
- Спирачният път е един от основните критерии за безопасността на движението на влаковете, тъй като е свързан с редица експлоатационни параметри, от които на първо място е разстоянието между железопътните сигнали. Именно затова той се приема като най-всеобхватен, комплексен измерител на ефективността на спирачните средства.
- Стойностите на спирачния път не са подходящи за директно използване, като проектиране на спирачни системи и особено при обезпечаването на влаковете със спирачни средства.
- Спирачният път се явява критерий за оценка на точността и универсалността на останалите измерители, т.е. те се оценяват чрез прецизността, с която могат да се обвържат със спирачния път във физически и математически план.

1. Абсолютни измерители

- **Мощност на спирачната система** – фрикционните спирачни системи погасяват енергията на движещия се ПЖПС, като извършват определена работа на триене, т.е.:

$$\Delta E = (1 + \gamma) m_F \frac{V_r^2 - V_{r+1}^2}{2 \cdot 3,6^2} - (W_O + W_R) \Delta S_r - m_P \cdot g \cdot \Delta h = B_c S_r$$

където:

ΔE – енергия, трансформирана в механична работа при изменението на скоростта и потенциалната височина в даден диапазон, kJ;

γ – променлив фактор;

V_r, V_{r+1} – скорост в началото на „r“ и „r+1“ интервали, km/h;

W_O – основно съпротивление на ПЖПС, kN;

W_R – съпротивление от кривите, kN;

ΔS_r – спирачен път, съответстващ на изменението на скоростта, m;

m_F – маса на ПЖПС, падаща се на фрикционен възел, t;

g – земно ускорение, m/s²;

Δh – изменение в разглеждания интервал на височинното ниво на ПЖПС (+ в нагорнище, - в надолнище), m;



1. Абсолютни измерители

- Работата на триещите сили извършена за единица време в „r“ интервал дефинира в случая моментната спирачна мощност на фрикционния възел:

$$W_r = \frac{B_c \cdot \Delta S_r}{\Delta t_r} = 0,278 \cdot B_c \cdot V_r^m$$

където:

W_r – мощност в „r“ интервал на скоростта, kW;

Δt_r – време за изминаване на път ΔS_r , s;

V_r^m – средна скорост на возилото в r интервал, km/h.

$$V_r^m = \frac{V_r + V_{r-1}}{2}$$

1. Абсолютни измерители

- В някои случаи, особено при топлинно оразмеряване и сравняване на отделни фрикционни възли, се преминава към средна мощност, определена от средната за целия спирачен процес спирачна сила и конструктивната скорост на екипажа:

$$W^m = 0,278 \int_{V_0}^0 B_c dV = 0,278 \cdot B_c^m \cdot V_0$$

където:

W_m – средна мощност на фрикционния възел, kW;

B_c^m – средна спирачна сила, kN.

1. Абсолютни измерители

- Използването на измерителя *спирачна мощност* на отделен фрикционен възел или на спирачната система на екипаж с n фрикционни възела ($n.W_r$ или $n.W^m$) в ежедневната експлоатационна практика е трудно, главно поради зависимостта на W_r от текущата скорост и необвързаността на W^m с нестационарните спирачни процеси.
- При проектирането на фрикционни възли, особено при проектирането на комбинирано работещи спирачни системи (спирачни комплекси), показателят W^m се използва често.
- Например, за дискови спирачки се препоръчва:
 - ▣ $W^m \leq 45 \text{ kW}$ – при продължителни спускания;
 - ▣ $W^m \leq 600 \text{ kW}$ – при бързо спиране, започнало при студен диск.



1. Абсолютни измерители

7

- **Сила на натиск във фрикционния възел** – достатъчно прост и леко приложим в ежедневната практика критерий за правилното обезпечаване на влаковете със спирачни средства.
- Чрез него се преминава от качествени критерии към измерител с точна числена стойност и подлежащ на сумиране за целия влак:

$$K_z = \sum_{i=1}^{n_z} \sum_{i=1}^n K_i$$

където:

n_z – брой вагони във влака с действащи спирачни системи;

n – брой фрикционни възли на всеки вагон, бр;

K_z – сумарна натискова сила във фрикционните възли, kN.



1. Абсолютни измерители

8

- Използването му е непрецизно защото:
 - Спирачният процес се обуславя не само от натисковата сила K , а от спирачната сила $B_c = K \cdot \varphi_k$;
 - При влак, съставен от вагони с различни фрикционни възли сумирането на натисковите сили е грубо неправилно;
 - В процеса на износването на елементите от фрикционната двойка се изменя и геометрията на лостовата система, с което се изменя и самата натискава сила K ;
 - В процеса на експлоатация се изменя к.п.д. на лостовата система, което води до намаляване на натисковата сила.
- В същото време използването на по-прецизния измерител спирачна сила – B_c не е намерило приложение главно поради сложната зависимост на коефициента на триене (φ_k , $K \cdot \varphi_k$) от скоростта.

1. Абсолютни измерители

- Търсенето на по-съвършен измерител на спирачната ефективност води до въвеждането на т.нар. *спирачно тегло* B_p' – условна натискава сила, която за пътнически вагони е:

$$B_p' = \frac{10}{8} \sum_{i=1}^n K_i$$

където коефициентът $10/8$ отразява практически установеното съотношение между сумарната натискава сила, действаща във фрикционните възли на една колоос към предаваната от тази колоос към релсата нормална сила.

- За товарните вагони *спирачното тегло* B_{II}' се определя от зависимостта:

$$B_{II}' = \frac{10}{7} \sum_{i=1}^n K_i$$



1. Абсолютни измерители

- Основна слабост на изброените измерители:

**Не отчитат нестационарния
процес на напълването на
спирачните цилиндри с въздух
при автоматичните спирачни
системи!**

1. Абсолютни измерители

- **Спирачна маса** – обективен измерител, който държи сметка както за нестационарния процес на напълване на спирачния цилиндър, така и за газодинамичните процеси, протичащи в спирачната система на влака.
- При направените изпитвания на функционални вентили за пътнически влакове (Westinghouse – $t_c=28s$) и за товарни влакове (Kunze-Knorr – $t_c=60s$), но при еднакви натискови сили във фрикционните възли, са получени следните обобщени резултати:
 - За да е възможно използването на съществуващите спирачни таблици и нормативните документи за спирачните системи, определянето на спирачната ефективност трябва да стане по горната формула, коригирана с променлив фактор γ ;
 - При $t_c=28s$, $K=16,5\text{ kN}$ и скок на налягането в спирачния цилиндър $\alpha=0,2$, се приема $\gamma=1$.

1. Абсолютни измерители

където:
$$\gamma = \gamma_p \cdot \gamma_t \cdot \gamma_\alpha$$

γ_p – фактор, отразяващ влиянието на силата на натиск върху спирачната маса на вагона;

γ_t – фактор, отразяващ влиянието на времето t_c върху спирачната маса на вагона;

γ_α – фактор, зависещ от стойността на първичния скок на налягането в спирачния цилиндър.

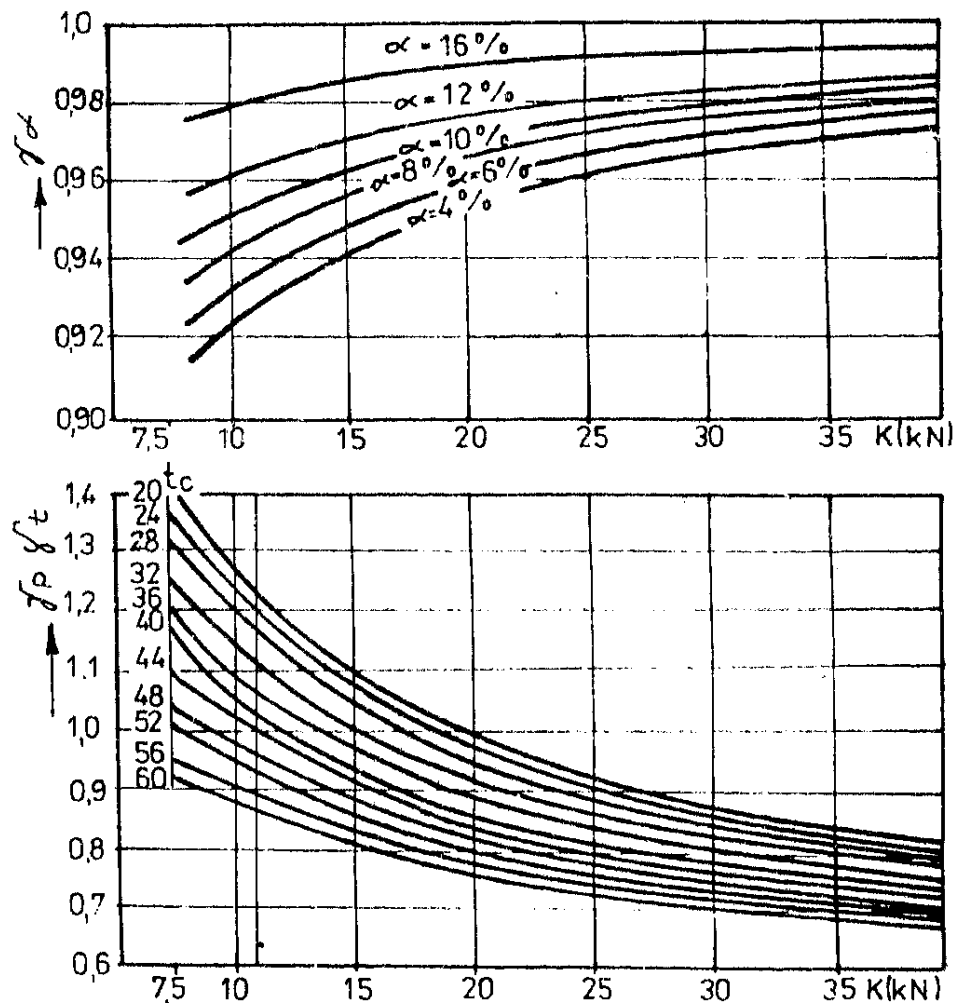
- Процентът на α се определя от отношението на налягането в спирачния цилиндър, получено с висок темп на нарастване в първия момент на спирачния процес към максималното регламентирано налягане.

1. Абсолютни измерители

- Анализът на получените резултати показва следното:
 - ▣ Коефициентът γ_p в косвен вид отразява влиянието на коефициента на триене върху спирачната ефективност;
 - ▣ γ_p е свързан с конкретните условия на проведените изпитания:
 - Конкретен спирачен път 700 m, който определя максималното предсигнално разстояние;
 - Конкретна конструкция и химически състав на калодките;
 - ▣ Коефициентът γ_t е функция на същите параметри, както и γ_p , като ролята на спирачния път и тук е определяща.

1. Абсолютни измерители

14



1. Абсолютни измерители

- В съвременните условия формулата добива вида:

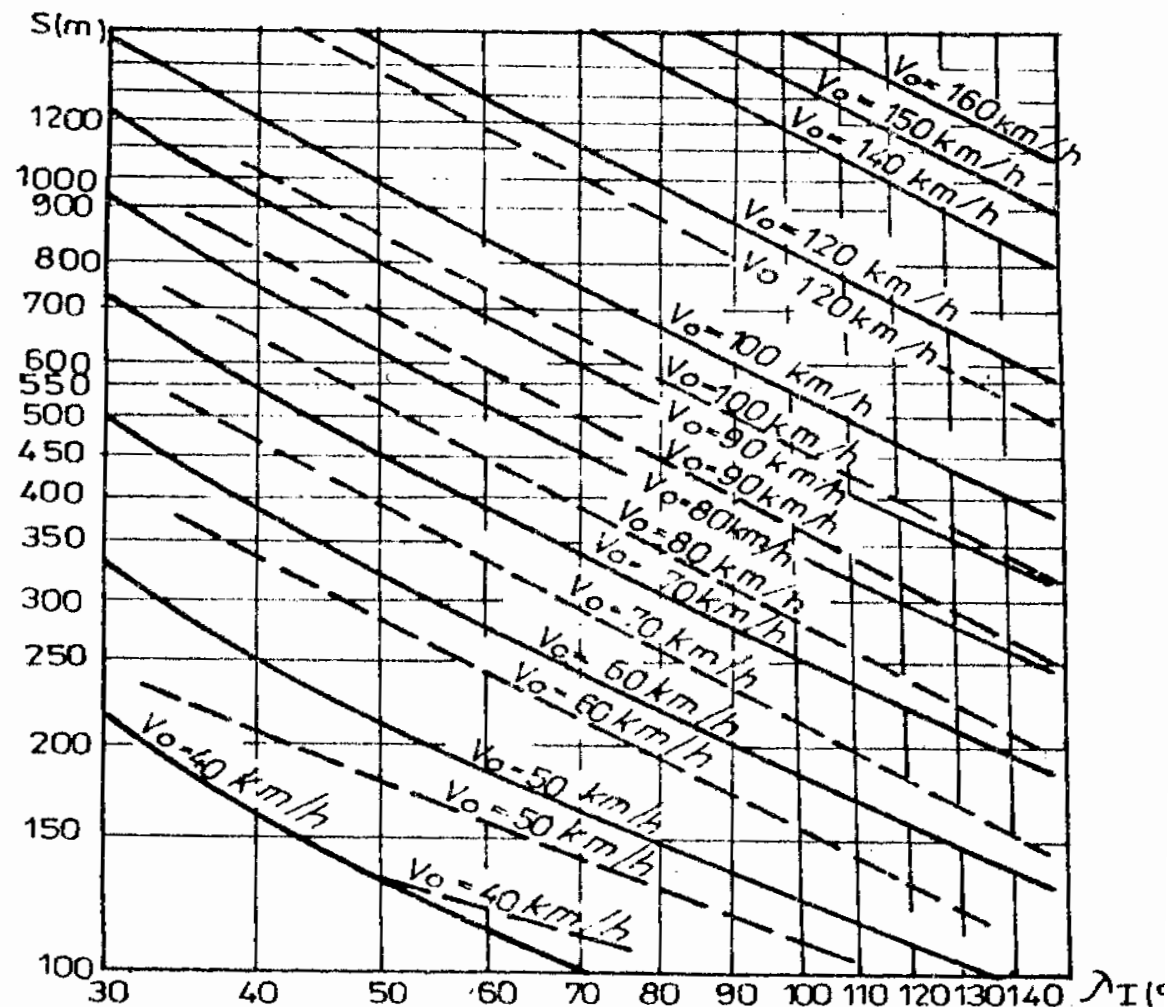
$$B_{II} = \frac{10}{7} \cdot \frac{n \cdot K}{g} \gamma_p \cdot \gamma_t \cdot \gamma_\alpha$$

- Точността не е достатъчна поради следните причини:
 - Коефициентите γ_p , γ_t и γ_α са получени на базата на средна скорост 45 km/h;
 - Спирачните пътища в съвременните условия са минимум 1000 m;
 - При увеличаване на скоростта при $t_c = \text{const}$ коефициентът γ_t намалява;
 - Не е изследвано влиянието на наклона на железния път върху коефициентите;
 - Емпиричното обвързване на спирачната маса с определен вид калодки определено води до грешки и т.н.
- Въпреки изброените недостатъци, зависимостта е основа за аналитично определяне на спирачните маси на вагоните с времена на напълване на спирачните цилиндри над 20s.

1. Абсолютни измерители

- Чрез построяване на номограми на зависимостта $S=f(\lambda, V_0=const)$ са създадени еталонни условия за определянето на спирачните маси на пътническите вагони за всички страни, членки на UIC.
- Методът е разпространен върху всички вагони, снабдени с РФВ „R“.

1. Абсолютни измерители



1. Абсолютни измерители

- На базата на експериментални данни, получавани на основата на изложения метод, е предложена емпирична зависимост за определяне на спирачната маса на даден вагон за РФВ „Р“:

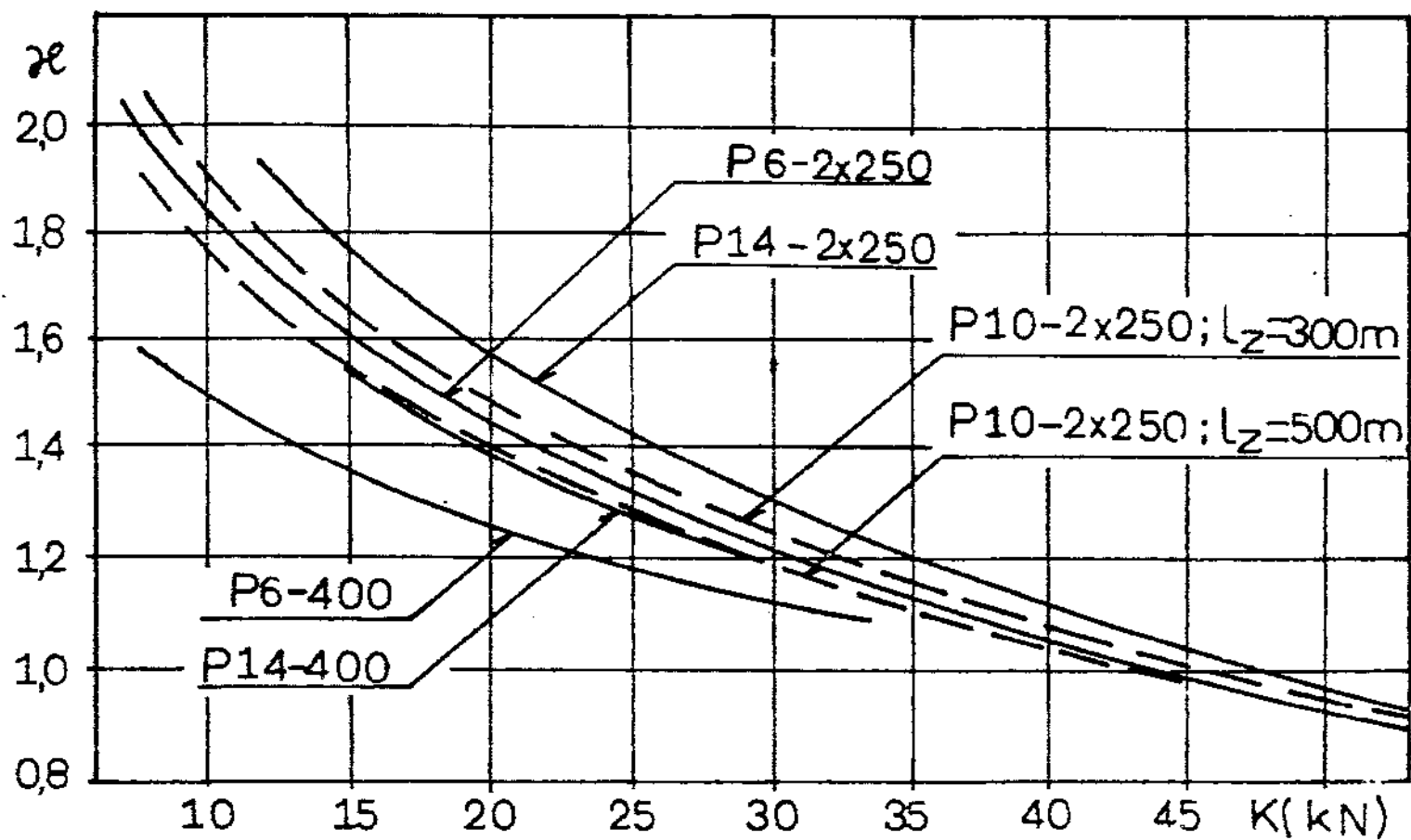
$$B_P = \frac{\kappa}{g} \cdot \sum_{i=1}^n K_i$$

където:

κ – емпиричен коефициент.

- Съгласно предписанията на UIC определянето на спирачната маса за РФВ „Р“ се определя само експериментално.
- По този начин в съвременната практика се използват практически два различно дефинирани, емпирично и математично несумируеми измерители на ефективността на спирачните системи:
 - ▣ Спирачна маса за РФВ „I“;
 - ▣ Спирачна маса за РФВ „II“.

1. Абсолютни измерители



2. Относителни измерители

20

- **Специфична мощност** – дефинира се като средна мощност, отнесена към единица фрикционна площ (kW/m^2) и определя конструктивното и технологично съвършенство на фрикционния възел.

2. Относителни измерители

- **Коефициент на натисковата сила ν** – определя се като бездименсионно отношение на сумарната натискова сила за даден екипаж към съответната сила на тежестта:

$$\nu = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{g \cdot m_W}$$

където:

m_W – маса на екипажа, t.

- За отделна колоос в граничния случай:

$$n_a \cdot K \cdot \varphi_k = m_a \cdot g \cdot \psi_k$$

където:

n_a – брой фрикционни възли, действащи върху една колоос;

m_a – част от масата на екипажа, действаща върху една колоос, t.

- И след заместване се получава:

$$\nu_a = \frac{n_a \cdot K}{g \cdot m_a} = \frac{\psi_k}{\varphi_k}$$



2. Относителни измерители

- **Специфична спирачна сила** – отношение на моментната сума на спирачните сили към силите на тежестта на дадения ПЖПС:

$$b' = \frac{\sum_{i=1}^{n_z} B_{ci}}{\sum_{i=1}^p G_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n_z} \sum_{k=1}^n K_i \varphi_{k_i}}{g \sum_{i=1}^p m_i}$$

където:

p – брой вагони във влака, бр.

- В практиката дименсията на специфичната спирачна сила е N/kN, т.е.:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n_z} B_{ci}}{\sum_{i=1}^p G_i} \cdot 10^3$$



2. Относителни измерители

- За отделно возило:

$$b = \frac{B_c}{g \cdot m_W} \cdot 10^3 = \frac{n \cdot K \cdot \varphi_k}{g \cdot m_W} \cdot 10^3$$

- Максималните стойности на специфичната спирачна сила се бележат с b_c и се получават при АПСС за максималните цилиндрови налягания, т.е. за максималните възможни сили B_c .
- Специфичната спирачна сила е важен измерител, особено при решаване на експлоатационни спирачни задачи.

2. Относителни измерители

□ Спирачен процент:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n_z} B_i}{\sum_{i=1}^p m_i} \cdot 10^2$$

3. Коефициент на интензивност на спирачния процес

- Налягането в спирачните цилиндри се регулира чрез градиента на изменение на налягането в главния въздухопровод:

$$\text{grad} \frac{\Delta p_L}{\Delta t} = p_c$$

- Отношението на специфичната спирачна сила, получена при степенно задържане b_z към максималната специфична спирачна сила, съответстваща на бързо (екстрено) задържане b_c представлява коефициент на интензивност на спирачния процес:

$$z = \frac{b_z}{b_c}$$

- Анализът на коефициента z показва:
 - Той е зависим от натисквата сила, тъй като b_z и b_c са определени за K_z и K и за съответните коефициенти на триене φ_k ;
 - Коефициентът z зависи от к.п.д. на ЛСС (особено при ниски стойности на $p_c - \eta_i=0,5$ при $p_c=0,1$ МПа, $\eta_i=0,9$ при $p_c=0,38$ МПа).

3. Коефициент на интензивност на спирачния процес

- За практически нужди като:
 - ▣ Анализ на произшествия;
 - ▣ Автоматично регулиране на скоростта на влаковете и др.

коефициентът може да се определи по следната зависимост:

$$z = 6,6(0,49 - p_L)$$



4. Специфична спирачна сила при степенно задържане

- С отчитане на коефициента z зависимостта за специфичната спирачна сила при степенно задържане добива вида:

$$b_z = A \cdot \lambda \cdot z \cdot \varphi_0$$



Литература

28

- Василев, С., В. Паунов, П. Сърнов, Е. Бенчев, Влакови спирачки, С. Техника, 1985.
- Тонев, С. Основи на теорията изчисленията и експлоатацията на подвижния железопътен състав, С. ВВТУ, 1993.
- Йовов, Т., Г. Петров, Тяга и спирачни системи на влаковете, С. ВВТУ, 1995.
- Лекции.