

# Проучване относно методите за изследване на надлъжната динамика на влаков състав в режим спиране

Стефан Кръстев

**Резюме**—Съществен проблем при експлоатацията на дългосъставни товарни влакове е появата на прекомерно големи сили в междувагонните връзки на железопътния подвижен състав. Именно тези сили са обект на изследване на различни автори по целия свят, основно от държави, в които е характерно използването на влакове с голяма дължина. В този доклад е направено проучване, относно съществуващите методи за изследване на надлъжната динамика на влаковете, като е акцентирано основно върху изследванията, касаещи спирането му. За целта са анализирани на първо място основните видове спирачни системи, използвани в железопътния транспорт и съответно какво е влиянието им върху надлъжните сили. Систематизирани са различните фактори, влияещи върху силите, които се пораждат в надлъжна посока и е направено задълбочено проучване на съществуващите методи на изследването им.

**Ключови думи**—надлъжни сили, спиране, модели, теглично-отбивачно съоръжение

## I. ВЪВЕДЕНИЕ

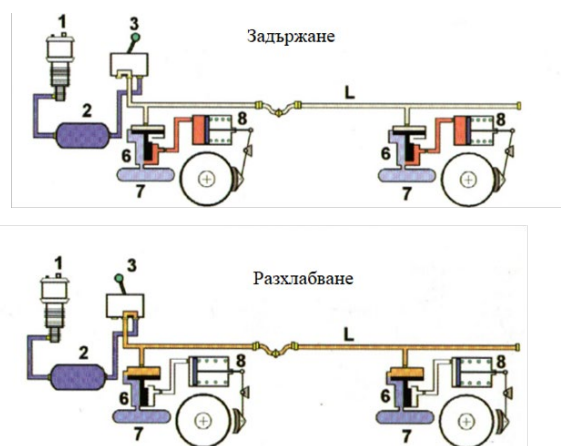
Все повече нарастващия дял на товарните превози и стремежа за намаляване на разходи за превозване на товарите води до увеличаване на масата и дължината на влаковите състави. <sup>1</sup> Релсовите пътища в Европа са изградени за натоварване 22,5 t/ос [1], със стремеж за увеличаване до 25 t/ос [2]. Освен това, с развитието на транспорта, влаковете стават все по-дълги, достигащи дължина над 1000 m. Това неминуемо води до различни проблеми свързани с тяхната експлоатация. Съществен такъв се явяват силите, които се получават в теглично-отбивачните съоръжения (ТОС), по време на движението на влаковия състав, което е познато като надлъжна динамика на влака. Характеризира се с това, че при изследването ѝ се анализира както движението на влака като цяло, така и относителните премествания на отделните вагони от състава му [3], [4]. Последните са вследствие на различните сили, които действат на отделните вагони, и от хлабините и еластичността на ТОС. Надлъжни сили се получават при всеки режим на движението на влака, но най-високи стойности са характерни при спирането на влаковия състав. Поради тази причина много изследователи са насочили проучванията си основно към този режим. Такива изследвания започват да се правят още от средата на 20 век, основно в страни, където се експлоатират дългосъставни влакове, като основната причина за това са появата на пукнатини и счупвания, както в

междувагонните връзки, така и по структурните елементи от подвижния състав (рама, талиги и др.) или дерайлиране.

В този доклад обобщено са анализирани начините за изследване на надлъжната динамика и хронологичното им развитие, като е акцентирано върху спирането на влаковия състав, поради факта, че в този случай се наблюдават най-високи стойности на надлъжните сили.

## II. ОСОБЕНОСТИ НА ВЛАКОВИТЕ СПИРАЧНИ СИСТЕМИ

Спирачните системи, използвани във железопътния транспорт се характеризира с голямо многообразие и сложност на протичащите процеси в тях [5], [6], като класификационните признаци, които ги обхващат са изключително много [7]. Въпреки това в конвенционалния железопътен подвижен състав като основна спирачна система се наложила индиректната пневматична спирачка, поради многото и предимства. Принципна схема при задържане и разхлабване е представена на фиг. 1 [7].



Фиг. 1. Принципна схема на индиректна спирачна система

Отделните означения от фиг.1 са: L – главен въздухопровод (ГВ); 1 – компресор; 2 – главен въздушен резервоар (ГВР); 3 – кран-машинист (КМ); 6 – функционален вентил (ФВ); 7 – запасен резервоар (ЗР); 8 – спирачен цилиндър (СЦ).

Най-голямото предимство на тази спирачна система е, че тя е автоматична, което означава, че в случай на нарушаване целостта на ГВ, двете части на влака автоматично ще спрат. Това се дължи на принципа, че при движение на влака (без да се осъществява спирачен процес) в ГВ се поддържат постоянни 5 bar налягане.

Received: 01.07.2026

Published: 27.07.2026

<https://doi.org/10.47978/TUS.2026.76.03.009>

Стефан Кръстев, Технически университет – София, София, 1000, бул. Климент Охридски 8, България (skrastev@tu-sofia.bg)

Задържането със спирачната система се осъществява чрез понижаване на налягане в ГВ, т.е. колкото пониско е налягането в ГВ, толкова по-голяма спирачна сила ще се реализира. Връзките по задържане и разхлабване се осъществяват от главния изпълнителен елемент, а именно ФВ. За конкретния тип спирачка максимална спирачна сила се получава при налягане в ГВ 3,5 bar, което съответства на налягане в СЦ от 3,8 bar. При екстрено спиране налягането в ГВ се понижава до 0, което влияе единствено върху интензивността на спирачния процес при спирачна сила съответстваща на 3,5 bar налягане в ГВ. В случай на скъсване на влака се получава същото както при екстремното спиране.

Фактът, че енергоносителят на този тип спирачна система е въздух под налягане води до някои проблеми при спирането по време на експлоатация на дългосъставни влакове. Основният е от закъснението на сигнала за спиране [8]. Получава се поради това, че управлението на спирачната система се осъществява от КМ, който се намира в локомотива (в началото на влака) и понеже скоростта на въздуха движещ се в ГВ при максимална интензивност е около 250 m/s [9]–[11], то при влакове с дължина от 1000 m, закъснението на сигнала може да е от порядъка на 4 s. От друга страна спирачния сигнал, достигайки ФВ, не го задейства моментално, а изминава време по формиране на налягането на въздуха за запълване на СЦ. Това е т. нар. нестационарен процес по напълване на СЦ, който се определя от режима на работа на ФВ [7]. Поради причините изброени дотук по дължината на влака, спирачната сила за отделните вагони възниква по различно време.

### III. ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ГОЛЕМИНАТА НА НАДЛЪЖНИТЕ СИЛИ

В един влаков състав могат да бъдат композирани различни по тип вагони, с различни спирачни системи, режим на ФВ и натоварване на вагоните, откъдето съответно се получават относителни премествания между отделните железопътни единици и удари между тях [12].

По време на движението си, влаков състав с даден брой и тип вагони, в зависимост от режима на движение и наклона на пътя, вагоните могат да бъдат в свито или в разтегнато състояние [3], [4]. Свито състояние се получава, когато е изчерпана хлабината в ТОС. Получава се при спускане по наклон или спиране на влака. Обратното, при разтегнато състояние хлабината в ТОС е максимална и се получава при потегляне и при изкачване на наклон. Високи стойности на силите в междувагонните съединения могат да се получат при два случая. В първия това става при рязко редуване на изкачване и спускане. Втория случай се получава при движение по хоризонтален участък от пътя и задействане на пневматичната спирачна система. При него поради невъзможността от едновременно задействане на спирачката на всички вагони се получава така, че вагоните се стремят да се „изпреварват“ един друг, вследствие на което се получават големи надлъжни сили [13]. Високите

стойности на надлъжните сили могат да предизвикат счупване на елементи от подвижния състав, както и образуване на пукнатини вследствие на умора на материала [14]–[16]. Тези повреди биха довели „скъсване“ на влак по време на неговото движение. Също така при движение в крива, при големи надлъжни сили може да се получи дерайлиране, дължащо се на разтоварването на някое колело [3], [4]. В [17] е изследвано влиянието на напречните сили, получаващи се в ТОС и разтоварването на някое от колелата. Комбинацията от тези два фактора може да доведе до дерайлиране.

От представеното дотук може да се направи извода, че основните фактори, които влияят върху силите, действащи в надлъжна посока са:

- Броят на локомотивите и вагоните в състава на влака, техните размери, маса и разположение;
- Скорост на движение на влака;
- Профила на пътя и наличието на криви;
- Характеристиката на спирачната система;
- Типа на ТОС.

Първите два са експлоатационни фактори и върху тях може да влияе при съставяне графици за движение на влаковете и при композирането им. Например при товарен влак, състоящ се от натоварени и празни вагони е целесъобразно по-тежките вагони да се разполагат по-напред в състава на влака, а по-леките по-назад [18].

Последните два фактора са конструктивни и върху тях може да се влияе при избора на използвания подвижен състав.

От гледна точка на пневматичната спирачната система на даден влаков състав големината на надлъжните сили зависят от [19]:

- Времето на разпространение на спирачната вълна, откъдето задействането на спирачната система се получава последователно за отделните железопътни единици в състава на влака;
- Достигането на определена стойност на спирачните сили за отделните возила в състава на влака зависи от времето, което се определя от характеристиката на ФВ;
- В състава на влака могат да бъдат композирани различни по тип вагони и различни маси и натоварване;
- Отделните железопътни единици, включени в състава на влака могат да бъдат с различни спирачни системи;
- Наличието на вагони с неработещи спирачки.

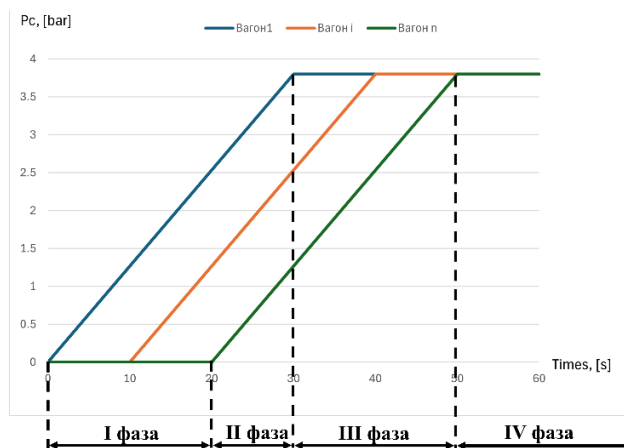
Изследването на надлъжното поведение на влака в режим спиране е свързано с изучаване на процесите, случващи се по време на спирането, както и конструктивните и експлоатационни характеристики на самите спирачни системи.

### IV. МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАДЛЪЖНАТА ДИНАМИКА НА ВЛАКОВ СЪСТАВ

Както бе отбелязано във въведението, подобен тип изследвания се извършват от средата на 20-ти век. Едно от първите изследвания, концентрирани върху режима

на спиране на влака е направено в [20]. При него железопътните возила влизащи в състава на влака се разглеждат като твърди тела, съединени с еластични връзки и без хлабина в ТОС. Съставът на влака е разгледан като хомогенен по отношение на спирачната система и масата на отделните возила. Хомогенен е този влак, в който всички вагони включени в състава му са с еднакви по тип конструктивни елементи на спирачните си системи и работят в един и същи режим.

Спирачният процес е разделен на четири фази, които са показани на фиг. 2 [19].



Фиг. 2. Фази на спирачния процес

На фиг. 2,  $P_c$  е налягането в спирачния цилиндър, [bar].

От момента на подаване на сигнал за спиране до началото на повишаване на налягането в СЦ на последния вагон е първата фаза. Втората фаза е от края на първата до момента, в който налягането в СЦ на първия вагон достигне максимална стойност. Третата фаза е до достигане на максимално налягане в спирачните цилиндри на всички вагони. При нея се получава изравняване на спирачните сили по дължината на влака (ако имаме хомогенен влак) и енергията натрупана в ТОС се отдава частично в рамките на хистерезиса от характеристиката на поглътания елемент. В четвъртата фаза, ако имаме хомогенен влак реакциите, получени в ТОС се нулират напълно. При нехомогенен влак има сили на опън или натиск в ТОС.

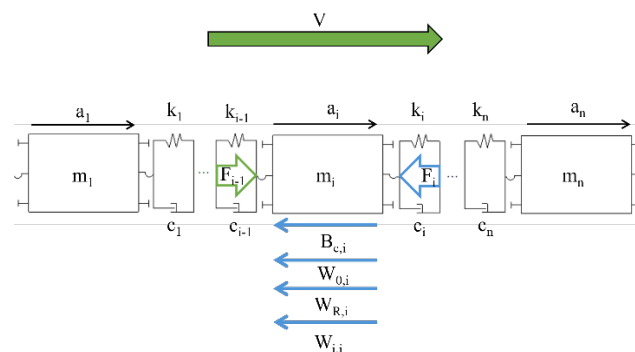
Както се вижда, дори и при хомогенен влак се пораждат сили в надлъжна посока, особено през първата и втората фаза на спирачния процес. При това влакът постоянно мени своето състояние ту разтегнато, ту свито. Ако се експлоатира дългосъставен влак, при който има голяма разлика в реакцията между първите и последните вагони е възможно да се получат такива стойности на надлъжните сили, че да се получи претоварване и съответно счупване на ТОС.

По нататъшното изследване на надлъжната динамика на влака се извършва чрез последователно разглеждане на спирачните сили, които се получават в началото и края на всяка фаза. Приема се, че спирачната сила има право пропорционална зависимост на налягането в СЦ. На база това се определят реакциите в междувагонните връзки.

От гледна точка на спирачния процес, най-голямото предимство на този метод, че отчита нестационарната фаза по напълване на СЦ със съгъстен въздух и поради директната връзка с измерителите на спирачната ефективност лесно могат да се определят търсените реакции в ТОС. Като недостатък може да се отбележи, че методът е много добър за хомогенни влакове, но нехомогенността се отчита трудно, а хомогенни влакове са по-скоро изключение в днешно време.

С напредването на изчислителната техника стана възможно по-точно да се моделира поведението на влаковите състави по действието на надлъжните сили. Поради тази причина към днешно време се формирал единен подход за изследване на надлъжната динамика на влака. Осъществява се чрез динамични модели, представящи максимално точно и просто поведението на влаковия състав под действието на надлъжните сили. При теоретично изследване за построяването на моделите се допускат някои опростявания, като основно се приема, че влаковия състав има само една степен на свобода (движението по посока на релсовия път). Вертикалните и напречните сили се пренебрегват [3], [4] и [13].

Към този момент съществуват изключително много разработки за изследване на надлъжната динамика на влаков състав при различните му режими на движение. Съществена част от тях са направени в Русия, САЩ, Китай и Австралия, предвид експлоатацията на дългосъставни влакове в техните железопътни администрации, където общата дължина на съставите достига до над 700 m. Отделните разработки са свързани с различните режими на движение на влаковия състав, като например тръгване от място, движение по променящ се профил на пътя и спиране, но принципът е един и същ. Основава се с избор на подходящ динамичен модел, описващ движението на влака в надлъжна посока. Определят се силите, действащи на всяко возило от състава му и да се съставят и решават уравненията на неговото движение. При използване на т. нар. многомасов модел, обикновено се приема, че влакът е композиран от  $n$  броя возила, които са свързани помежду си с ТОС. За нашата страна все още масово се използват буфери и винтов спръг, като в динамичния модел те се представят като връзки с еластични и демпфиращи характеристики. Обикновено моделът е тримасов, който представя поведението на железопътните возила, намиращи се в началото, средата и края на влака. Такъв модел е представен на фиг. 3 [3], [4], [21].



Фиг. 3. Тримасов динамичен модел за надлъжна динамика на влака.

На фигурата са представени съответните означения:

- $V$  – скорост на движение, [m/s];
- $m_i$  – маса на единично возило, [kg];
- $a_i$  – ускорение на возилото, [m/s<sup>2</sup>];
- $k_i$  – коефициент на еластичност на ТОС, [N/m];
- $c_i$  – коефициент на демпфиране, [N.s/m];
- $B_{c,i}$  – спирачна сила, [kN];
- $W_{0,i}$  – съпротивителна сила от основното съпротивление, [kN];
- $W_{R,i}$  – съпротивителна сила от крива, [kN];
- $W_{i,i}$  – съпротивителна сила от наклона на пътя, [kN];
- $F_i$  – сила в междувагонните връзки, [kN].

На база избрания динамичен модел на влака, по познатите от механиката начини, могат да се съставят диференциалните уравнения (ДУ), които описват движението на всяко возило от състава на влака. За тримасов модел изглеждат по следния начин [3]:

$$m_1 a_1 + c_1(V_1 + V_2) + k_1(x_1 + x_2) = -B_{c,1} - W_{0,1} - W_{R,1} - W_{i,1} \quad (1)$$

$$m_2 a_2 + c_1(V_2 - V_1) + c_2(V_2 - V_3) + k_1(x_2 - x_1) + k_2(x_2 - x_3) = -B_{c,2} - W_{0,2} - W_{R,2} - W_{i,2} \quad (2)$$

$$m_3 a_3 + c_3(V_3 - V_2) + k_3(x_3 - x_2) = -B_{c,3} - W_{0,3} - W_{R,3} - W_{i,3} \quad (3)$$

където:  $x_i$  – преместването на единично возило, [m].

Решаването на ДУ се осъществява след като изясни характерът на изменение на всички сили, които действат на отделните вагони от състава на влака. Съпротивителните сили се изчисляват по емпирично изведени зависимости [22]–[24] на база експериментни проучвания за различните видове подвижен състав и техния характер вече е достатъчно ясно изразен. Силите в междувагонните връзки се определят на база разликата между скоростта и преместването на съседните вагони от силовата характеристика на поглъщащия апарат на ТОС. В случая така зададените уравнения са за линейна силова характеристика (винтова пружина), но поглъщащ апарат с такава силова характеристика в днешно време не се използва. Основно се използват такива с енергопоглъщане (метало-гумен пакет, хидравлични и др.), които имат нелинейна характеристика, най-често с хистерезис. В този случай е необходимо да се моделира силовата характеристика на ТОС, но това не е обект на текущото изследване.

По-голяма трудност представлява да се изясни поведението на влака под действието на спирачните сили. Поради тази причина, повечето изследвания в тази област са насочени именно към моделиране на спирачните процеси и по-конкретно нестационарната фаза по напълване на СЦ. Крайният резултат от изследването трябва да бъде развитието на спирачната сила във функция на времето. Болшинството от разработки от наличните литературни източници представят теоретично извеждане на тези функции, извършени чрез компютърна симулация на спирачните процеси.

Някои изследователи се насочват към цялостно моделиране на пневматичните елементи на една спирачна система, като ГВ, ФВ и различните клапани, резервоари и СЦ, използвайки зависимостите от Механика на флуидите. Повечето модели от този тип представят максимално детайлно поведението на пневматичната спирачна система. Такъв е този представен в [25]. Авторът е моделирал всички въздуховоди, клапани, разклонения и др., като е пресъздал реалното поведение на въздуха в системата. Това е изключително важно за получаване именно на нестационарната фаза на спирачни процес. На база това е получил резултати относно скоростта на разпространение на спирачната вълна, времето за напълване на СЦ, спирачния път и надлъжните сили. По подобен начин са подходили и авторите в [12]. В тяхната разработка, резултатите представят реалната диаграма по напълване на СЦ, което е основна изходна величина за извеждане на силите в ТОС.

Други автори при изследването на надлъжната динамика на влак използват числени методи. Основно те се базират на регулациите на UIC [9], [26], чрез които на база някои измерители на спирачната ефективност, като спирачна маса и спирачен процент се симулира спирачния процес на влака. Такива разработки са представени от авторите в [27]–[29]. При този метод изчисленията се извършват по обратен ред. На база зависимостите на UIC относно спирачния процент се правят изчисления за определяне на спирачната сила. Недостатък на числените методи е, че не обхваща напълно точно нестационарната фаза от спирачния процес. В такъв случай някои изследователи извършват сравнение и верификация на резултатите с проведени реални изпитания с дадена влакова композиция [30], [31].

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящото проучване представлява преглед относно основните особености и начини за изследване на надлъжната динамика на влака. Разгледана е основния тип влакова спирачна система, използвана в днешно време и са анализирани нейните предимства и недостатъци, които оказват влияние върху надлъжното поведение на влака. Направен е задълбочен анализ на факторите, влияещи върху надлъжните сили и са представени основните методи на изследването им. Обобщено може да се отбележи, че съществува единен подход за изследването на надлъжната динамика, заключаващ се в следното:

- Избор на подходящ динамичен модел, представящ максимално точно надлъжното поведение на влака;
- Определяне на силите, действащи на всяко возило от състава на влака;
- Съставяне и решаване на диференциалните уравнения, описващи движението на влака;
- Получаване на силите, получени в ТОС.

Това проучване е подходящо за използването му като основа за бъдещи разработки, касаещи надлъжните динамика в режим спиране.

## REFERENCES

- [1] J. Siegmann, "TEN-T Railway Axes: An Overview of the EU Technical Requirements"
- [2] ESFA 25: European standard freight axle for 25t, *UIC Communications*, 2022, <https://uic.org/com/enews/article/esfa-25-european-standard-freight-axle-for-25t>
- [3] M. Spiryagin, C. Cole, Y. Q. Sun, M. McClanachan, V. Spiryagin и T. McSweeney, *Design and Simulation of Rail Vehicles*, CRC Press, 2014
- [4] S. Iwnicki, *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*, CRC Press, 2020
- [5] C. Cruceanu, *Train Braking*, InTech, 2012
- [6] M. E. Korkmaz, M. Günay, E. Selçuk, A REVIEW ON BRAKING SYSTEMS USED IN RAILWAY VEHICLES, 2018, 10.1016/j.cmbp.2012.12.005.
- [7] Basics of Brake Technology, Munchen: KNORR-BREMSE, 2003
- [8] M. Vukšić, *Effect of Response Time on Stopping Distance*. FME Transactions, Vol. 32, No. 1, Belgrade, 2004
- [9] UIC Code 540: 2002, *Brakes- Air Brakes for Freight Trains and Passenger Trains*, 4th edition, (2002)
- [10] K. Velkov, O. Krastev, S. Purić, "About the process of braked weight loss in the freight trains", in *Proceedings of XVI Scientific-Expert Conference on Railways – RAILCON'14*, (9–10 October, Nis, Serbia), pp. 29–32 (2014)
- [11] W. Wei, Y. Lin. Simulation of a freight train brake system with 120 valves. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2009;223(1):85-92. doi:[10.1243/09544097JRR119](https://doi.org/10.1243/09544097JRR119)
- [12] W. Wei, Y. Hu, Q. Wu, X. Zhao, J. Zhang и Y. Zhang, „An air brake model for longitudinal train dynamics studies,“ в *Vehicle System Dynamics*, Taylor & Francis, 2017, pp. 517-533
- [13] V. K. Garg и R. V. Dukkipati, *Dynamics of Railway Vehicle Systems*, New York: Academic Press, 1984
- [14] B. Vega, J.Á. Pérez, Comparative analysis of fatigue strength of a freight wagon frame. *Weld World* 68, 321–332 (2024). <https://doi.org/10.1007/s40194-023-01577-5>
- [15] Burgelman, N., Li, Z. and Dollevoet, R. (2016) 'Fast estimation of the derailment risk of a braking train in curves and turnouts', *Int. J. Heavy Vehicle Systems*, Vol. 23, No. 3, pp.213–229
- [16] R. Ulewicz, F. Nový, P. Novák, P. Palček, The investigation of the fatigue failure of passenger carriage draw-hook, *Engineering Failure Analysis*, Volume 104, 2019, Pages 609-616, ISSN 1350-6307, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.06.036>
- [17] M. El-Sabie, „Recent advancements in buff and draft testing techniques,“ в *Proceedings of the 5th International Heavy Haul Conference*, Beijing, 1993
- [18] Ш. Секерова и Е. Адильханов, „Динамика грузовых вагонов при торможении,“ Мир Транспорта, 2011
- [19] С. Тонев, *Основи на теорията, изчисленията и експлоатацията на спиралните системи на подвижния железопътен състав*, София: ВТУ, 1993
- [20] Б.Л. Карвацкий, *Обща теория автотормозов*, 1947, Москва.
- [21] C. Uyulan, and E. Arslanm "Simulation and time-frequency analysis of the longitudinal train dynamics coupled with a nonlinear friction draft gear" *Nonlinear Engineering*, vol. 9, no. 1, 2020, pp. 124-144. <https://doi.org/10.1515/nleng-2020-0003>
- [22] S.Yu. Saponova, V.P. Tkachenko, O.V. Fomin, I.I. Kulbovskiy, E.P. Zub. *Rail Vehicles: The Resistance to the Movement and the Controllability: Monograph*. Dnipro: Ukrmetallurginform STA, 2017. – 160 p. ISBN 978-966-921-163-7
- [23] К. Велков и О. Кръстев, *Технологии и системи за управление на влаковете*, София: ТУ-София, 2010
- [24] Н. Ненов, *Движение на влаковете и оптимални режими на управление*, София: ВТУ "Тодор Каблешков", 2008
- [25] T. Piechowiak, „Pneumatic train brake simulation method,“ в *Vehicle System Dynamics*, Taylor & Francis, 2009, pp. 1473-1492
- [26] UIC Code 544-1: 2014, *Brakes - Braking Power*, 4th edition, (2014)
- [27] M. Malvezzi, F. Bartolini, M. Rinchì, A. Rindi, A. Analysis of braking performance for the definition of emergency braking intervention in ATP systems, 2008, 273-282. 10.2495/CR080281.
- [28] N. Bosso, M. Magelli, N. Zampieri, A numerical method for the simulation of freight train emergency braking operations based on the UIC braked weight percentage. *Rail. Eng. Science* 31, 162–171 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40534-022-00296-9>
- [29] P. Presciani, M. Malvezzi, G. L. Bonacci и M. Balli, Development of a Braking Model for Speed Supervision Systems
- [30] N. Bosso, M. Magelli, N. Zampieri, Validation of a New Longitudinal Train Dyna Mics Code for Time Domain Simulations and Modal Analyses, 2021, *International Journal of Transport Development and Integration*. 5. 41-56. 10.2495/TDI-V5-N1-41-56.
- [31] D. B. Choi, R. Jeong, Y. Kim, J. Chai, Comparisons Between Braking Experiments and Longitudinal Train Dynamics Using Friction Coefficient and Braking Pressure Modeling in a Freight Train, *The Open Transportation Journal*, Volume 14, 2020, Pages 154-163, ISSN 1874-4478, <https://doi.org/10.2174/1874447802014010154>

# Study about methods for investigating the longitudinal train dynamics in braking mode

Stefan Krastev

**Abstract** - A significant problem in the operation of long freight trains is the occurrence of excessively large forces in the couplers of the railway rolling stock. These forces are the subject of research by various authors around the world, mainly from countries where the use of long-length trains is typical. This report studies the existing methods for studying the longitudinal dynamics of trains with a focus on studies related to their braking. For this purpose, the main types of braking systems used in railway transport are analyzed first of all and accordingly their influence on longitudinal forces. The various factors influencing the forces that arise in the longitudinal direction are systematized and an in-depth study of the existing methods for their study is done.

**Keywords**—longitudinal forces, braking, models, towing device