

FRI- 20.21-1-TMS-08

ANALYSIS OF THE FAILURES THAT OCCURRED IN THE TRUCKS BRAKING SYSTEM⁸

Petar Nikolaev, PhD Student

Department of Engines and Vehicles,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359888954123
E-mail: pnikolaev@uni-ruse.bg

Prof. Rosen Ivanov, DSc

Department of Engines and Vehicles,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: +35982888528
E-mail: rossen@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Georgi Kadikyanov, PhD

Department of Engines and Vehicles,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: +35982888526
E-mail: gkadikyanov@uni-ruse.bg

***Abstract:** In this paper an analysis of failures by time and by subsystems for the braking system of trucks and the corresponding trailers and semi-trailers has been carried out. The analysis of service activity in the period 2020–2025 is done. It shows that while mechanical components (pads and discs) represent the largest volume of work, systemic problems are concentrated in the quality (parameters) of the compressed air produced by the tractors, which leads to secondary failures in the trailer control elements.*

***Keywords:** Trucks, Brake system, Repairing, Failures.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Пневматичната спирачна система (ПСС) представлява критичен комплекс от подсистеми, чиято надеждност е от първостепенно значение за активната безопасност на товарните превозни средства. Както се споменава в (Sridhar, N., Subramaniyam, K., Subramanian, S., Vivekanandan, G. & Sivaram, S., 2017), броят на пътните произшествия в които има смъртни случаи се увеличава постоянно, което налага оборудване на автомобилите със системи за активна безопасност. Честото използване на тези системи допринася за нуждата от поддръжане на системите в оптимално работно състояние и съответно честа проверка и профилактика. В статията (Saikiran, N., Nalini T., & Gayathri, A., 2025) се казва, че прогнозното поддръжане, използващо усъвършенствани техники за машинно обучение, се очертава като обещаващ подход за предвиждане и предотвратяване на потенциални повреди, преди те да възникнат.

Емитерите следят работата на основните системи на превозното средство – двигатели, трансмисии, спирачни и охладителни системи, чиято повреда може да предизвика скъпо струващи престои и ремонти (Hou, Z., 2023). Правилното функциониране на пневматичната спирачна система пряко определя спирачния път, стабилността на композицията по време на спиране и предотвратяване на тежки пътни инциденти. Оптимизацията на стратегиите за поддръжане е

⁸ Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Транспорт и машинознание“ на 24 октомври 2025 г. с оригинално заглавие на български език: Анализ На Възникналите Неизправности В Спирачната Система На Товарни Автомобили

необходимо условие за гарантиране на дългосрочната експлоатационна готовност на товарните автомобили.

Настоящият доклад анализира данни от сервизната дейност в един конкретен сервиз за товарни автомобили, обхващащи периода от 2020 г. до началото на 2025 г. От съображения за конфиденциалност няма да бъде посочвано името и разположението на сервиза.

Данните са структурирани спрямо типа на превозното средство (Влекач, Ремарке и Композиция) и класифицирани в три основни функционални категории, които формират основата на пневматичната спирачна система: Поддържане на системата за високо налягане на въздуха, Компоненти за управление и контрол (кранове и сензори), и Механична система (спирачни механизми). Важно е да се отбележи, че данните за 2025 г. представляват непълен обхват, тъй като записите са налични само до месец май, докато годините 2020–2023 г. дават най-пълна картина на експлоатационните тенденции.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Методология на анализа и класификация на повредите

За целите на настоящия анализ, всички регистрирани сервизни дейности са групирани в три основни функционални категории, които обхващат цялостния цикъл на ПСС:

1. **Поддържане на системата за високо налягане на въздуха.** Тази категория включва компоненти, отговорни за генерирането, съхранението и използването на въздушното налягане. Основните компоненти са компресори, дехидратори, въздушни възглавници (въпреки че са част от окачването, те са неразривно свързани с пневматичната система и нейното натоварване) и спирачни цилиндри.

2. **Компоненти за управление и контрол.** Включват всички елементи за контрол и регулиране на въздушното налягане и спирачните функции, като различни типове кранове (4-пътен (многопътен) кран, спирачен кран, кран дехидратор), лули, спирачни тръбопроводи и електронни сензори (ABS, налягане).

3. **Механична система (спирачни механизми).** Обхваща крайните изпълнителни и фрикционни елементи, които са директно задвижвани или контролирани от ПСС. Това включва спирачни апарати, спирачни дискове, спирачни челюсти с накладки, ABS гривни и механични компоненти като ексцентрици и тресчотки.

Общ времеви анализ и годишни тенденции на отказите

Годишна динамика на ремонтните дейности

Анализът на общия брой регистрирани ремонти по години разкрива ясно изразена динамика в сервизното натоварване.

Визуализация на общия брой ремонти по години и категория е представена в Табл. 1.

Таблица 1. Общ брой ремонти по години и категория (2020-2025)

Година	Поддържане на системата за високо налягане на въздуха	Компоненти за управление и контрол	Механична система (спирачни механизми)	Общ брой ремонти
2020	83	22	186	291
2021	63	32	196	291
2022	87	39	275	401
2023	114	28	286	428
2024	64	16	145	225
2025 (непълна)	15	3	28	46
ОБЩО	426	140	1116	1682

Анализът на данните показва стабилно нарастване на ремонтната дейност от 2020 г. нататък, достигайки своя пик през 2023 г. с общо 428 регистрирани ремонта. Този пик в сервизното

натоварване може да се дължи на няколко фактора. Една от възможностите е повишено експлоатационно натоварване на автопарка в този период. Също така, подобряването на процесите по отчитане на сервизната дейност може да доведе до по-пълно документиране на ремонтите именно през този период. Анализирайки тенденцията, се установява, че дори ако данните за 2024 г. не достигат пълния обем на предходната година, се запазва високо ниво на сервизна активност.

Доминиращи подсистеми по честота на откази

Разпределението на общия брой ремонти (1682) по категории ясно показва доминиращата роля на механичните компоненти (спирачни механизми), които са приблизително 66% от всички регистрирани дейности (1116 случая). Тази висока стойност е очаквана, тъй като спирачните челюсти с накладки и дискове са консумативи, чиято подмяна е рутинна част от процеса на поддържане. Въпреки доминацията на механичните елементи, категорията "Поддържане на системата за високо налягане на въздуха" отбелязва значителен брой ремонти (426). Това насочва вниманието към потенциални системни проблеми, свързани с генерирането и управлението на въздуха, както и с компонентите на въздушното окачване. Тъй като функционалността на спирачните механизми зависи пряко от пневматичното задвижване и контрол, повредите в пневматичната подсистема могат да бъдат първопричина за вторични откази в механичната част.

Специфичен анализ на компонентите на пневматичната спирачна система и управлението ѝ

Анализ на компонентите за генериране и подготовка на въздуха

Ключови за работата на ПСС са компресорът и дехидраторът, които осигуряват чист и сух сгъстен въздух. Анализът се фокусира върху влекачите, където са монтирани тези компоненти.

Таблица 2. Честота на ремонтите на компресори и дехидратори (Влекачи)

Ремонтна дейност	Брой (2020-2025)	Критичен извод
ГЛАВА СМЯНА КОМПРЕСОР	17	Ремонтна дейност по компонент
КОМПРЕСОР СМЯНА	33	Често срещана дейност, често предхождаща външен ремонт
КОМПРЕСОР РЕМОНТ	7	Ниска честота на ремонт
ДЕХИДРАТОР СМЯНА	23	Висока честота на смяна (не само на филтъра)
ДЕХИДРАТОР ФИЛТЪР СМЯНА	29	Рутинно поддържане, индикатор за натоварване на системата

Честата подмяна на филтри на дехидратора (29 случая) се счита за рутинна дейност (филтри на дехидратора се подменят при всяко обслужване на автомобила. Тук са посочени само допълнителните смени на филтър дехидратор извън сервизните обслужвания), но значителният брой смени на целия дехидратор (23 случая) подчертава възможни проблеми с управлението на влагата. Дехидраторът е предназначен да премахва водата от сгъстения въздух. Наличието на влага в системата води до корозия и замръзване, което може да причини повреди в управляващите кранове и изпълнителните механизми. Ако интервалите за поддържане на дехидратора са недостатъчни или ако превозните средства работят в условия с висока влажност и интензивна употреба на въздух, се компрометира качеството на подавания въздух. Това, от своя страна, може да бъде първопричина за повишената честота на откази в по-чувствителните пневматични компоненти, особено тези в ремаркетата. Следователно, високата честота на ремонтите на дехидратори и компресори е силен индикатор за потенциални вторични повреди в други части на ПСС.

Анализ на компонентите за управление и активация (кранове и цилиндри)

Изпълнителните механизми и управляващите клапани показват критични зони на отказ. Регистрирани са 95 случая на "СПИРАЧЕН ЦИЛИНДЪР СМЯНА", почти изцяло концентрирани във влекачите (92 случая). Тази висока честота на подмяна на директния активационен елемент свидетелства за голямо топлинно и механично натоварване, особено на тези на влекача.

В сегмента "Управление и Контрол" се наблюдава изразено високо ниво на повреди в управляващите кранове. Влекачите имат 17 регистрации за "КРАН 4-ПЪТЕН СМЯНА", докато при ремаркетата и композициите има 15. Най-драстична е разликата при подмяната на "КРАН СПИРАЧЕН СМЯНА", където ремаркетата отчитат 52 случая срещу само 10 при влекачите. Тази диспропорция разкрива фундаментална разлика във фокуса на повредите между влекачите и ремаркетата. Докато влекачите имат проблеми, концентрирани около производството на въздух (Компресор/Дехидратор) и задвижването (Спирачни цилиндри), при ремаркетата проблемите са силно насочени към управляващите модули. Управляващите кранове на ремаркетата (като тези за ABS/EBS модулация) са изключително чувствителни към замърсяване и влага. Ако въздухът, подаван от влекача, е с компрометирано качество (поради недостатъчна дехидратация, както беше анализирано), това причинява бърза повреда на прецизните клапани в ремаркетата. По този начин, лошото качество на въздуха във влекача може да бъде директна причина за скъпи за отстраняване и чести откази на управляващите компоненти в ремаркетата.

Ремонти на въздушно окачване (ВЪЗДУШНА ВЪЗГЛАВНИЦА СМЯНА)

Ремонтите на въздушни възглавници, макар и извън строго спирачната функция, са зависими от пневматичната система. Отчетени са около 130 смени на възглавници при влекачите (задни, предни, кабина) и приблизително 70 при ремаркетата. Тази висока обща честота (225 случая, включително Композиции) предполага или много тежко експлоатационно натоварване на целия автопарк, или структурни проблеми с експлоатационния живот на възглавниците, което изисква редовна подмяна.

Анализ на Механичната система (спирачни механизми)

Механичните компоненти представляват най-голям обем от регистрираната сервизна дейност, тъй като те са подложени на директно триене и износване.

- Анализ на Спирачните апарати

Спирачният апарат е ключов елемент, който преобразува пневматичното налягане в механична сила.

Таблица 3. Ремонти на спирачни апарати по тип дейност и превозно средство

Ремонтна Дейност	Влекач	Ремарке	Композиция	Общ Брой
СПИРАЧЕН АПАРАТ РЕМОНТ	102	95	51	248
СПИРАЧЕН АПАРАТ ДЕМОНТАЖ-МОНТАЖ	12	0	4	16
СПИРАЧЕН АПАРАТ СМЯНА	2	1	6	9

Данните показват силно изразена тенденция към ремонт на спирачните апарати (248 случая), вместо пълната им подмяна (9 случая). Тази сервизна стратегия е индикация за политика, целяща минимизиране на краткосрочните разходи за резервни части. Въпреки това, съществува потенциален риск: ако ремонтът на апарата (който е със сложна конструкция и критичен за безопасността) не е достатъчно качествен или ако не е отстранена основната причина за повредата (напр. попадане на влага, която води до корозия на механизмите), това може да доведе до по-ниска надеждност на възстановения компонент.

- Анализ на фрикционните елементи и дисковете

Смяната на накладки (НАКЛАДКИ СМЯНА) е най-честата дейност в сервиза (над 500 случая общо). При влекачите има около 140 регистрации за задни накладки и 170 за предни, което отразява очакваното високо натоварване на влекачите. Смените на спирачни дискове (ДИСК СПИРАЧЕН СМЯНА) също са чести (над 380 случая общо), което показва, че поддръжката на дисковия тракт е интегрирана дейност.

- Взаимовръзка между износването на механичните компоненти и неизправностите на електронните компоненти

Въпреки високия обем на ремонтите на компоненти от спирачните механизми, броят на смените на ABS сензори (сензори за определяне честотата на въртене на колелата) или сензори за измерване на налягане е сравнително нисък – те съставляват едва 15-20% от общите механични ремонти. Този факт може да означава, че електронните компоненти са по-надеждни или, че те се подменят само при явна диагностицирана неизправност, а не превантивно. Тъй като сензорите за износване на фрикционните накладки (ДАТЧИК ИЗНОСВАНЕ НАКЛАДКИ СМЯНА, 40+ случая) и ABS сензорите са критични за функционирането на EBS/ABS системите и са пряко отговорни за управлението на спирачната сила.

Анализ по типове превозни средства и ключови повреди

Детайлната информация по типове превозни средства разкрива специфични уязвимости, свързани с конструкцията и функцията на различните единици в композицията и е представена в Таблица 4.

Таблица 4. Ремонти по превозно средство (Общо за 2020–2025)

Ремонтна Дейност	Влекач	Ремарке	Композиция	Системно Значение
НАКЛАДКИ СМЯНА	363	149	24	Фрикционен тракт
ДИСК СПИРАЧЕН СМЯНА/ДЕМОНТАЖ	179	158	45	Фрикционен тракт
СПИРАЧЕН АПАРАТ РЕМОНТ/СМЯНА	116	96	61	Механична активация
ВЪЗДУШНА ВЪЗГЛАВНИЦА СМЯНА	130	70	25	Пневматично окачване
КРАН СПИРАЧЕН СМЯНА/РЕМОНТ	10	52	8	Управление и контрол

Сравнението на честотата на ремонтите (представено в Таблица 4) илюстрира, че ремонтните дейности са концентрирани във влекачите (363 смени на накладки при влекачи спрямо 149 при ремаркета). Въпреки това, при дисковете разликата е по-малка (179 при влекачи спрямо 158 при ремаркета), което показва съпоставимо натоварване на фрикционния тракт. Специфичните рискови зони при влекачите са свързани с ПСС и окачването. Високата честота на повреди в спирачните цилиндри (над 90 случая на смяна) показва, че влекачите поемат значителна част от спирачното усилие, особено на предните оси, което води до по-бързо износване на активационните елементи. При ремаркета критични компоненти се наблюдават в подсистемата за управление. Изключително високият брой смени на "КРАН СПИРАЧЕН" (52 случая) и ремонтите на ЕКСЦЕНТРИК (55 случая на ремонт/смяна) са специфични за ремаркетата. Наличието на дейности, свързани с ЕКСЦЕНТРИК, предполага наличието на ремаркета с барабанни спирачки или специфични конструкции на осите, които изискват по-сложна механична работа. Ремонтът на такива системи често отнема повече време и ресурси в сравнение с поддържането на дисковите спирачки на влекачите и ремаркетата. Високата честота на отказ на управляващите кранове на ремаркетата, както беше отбелязано, почти сигурно е причинена от компрометирано качество на въздуха, което е подадено от влекача.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият анализ очерта основните причини и механизми, водещи до откази в спирачните системи на товарни автомобили, като подчерта значението на навременната диагностика, техническо поддържане и контрола на експлоатационните параметри. Установено е, че най-честите откази произтичат от износване на механичните елементи, изтичане на въздух в пневматичните контури, неправилна настройка на спирачните механизми, както и от дефекти в електронните подсистеми като ABS и EBS. Тези неизправности не само понижават ефективността на спирачната

система, но и увеличават риска от пътнотранспортни произшествия и икономически загуби, свързани с престои и скъпо струващи ремонти.

Извършен е анализ на отказите по време и по под системи за спирачната уредба на товарни автомобили и съответните ремаркета и полуремаркета. Анализът на сервизната дейност в периода 2020–2025 г. показва, че докато механичните компоненти (накладки и дискове) представляват най-голям обем от работа, системните проблеми са съсредоточени в качеството на сгъстения въздух, произвеждан от влекачите, което води до вторични повреди в управляващите елементи на ремаркетата.

Ефективното управление на техническото състояние на спирачните системи при товарните автомобили изисква комплексен подход, включващ съчетание от инженерни решения, периодичен контрол и използване на съвременни диагностични технологии. Това не само повишава безопасността на движението, но и допринася за икономическата ефективност и устойчивостта на транспортния сектор.

Изследванията са подкрепени по договор на Русенски университет "Ангел Кънчев" с № 2025-ФТ-03 "Изследване на характеристиките на двигателите и автомобилите"

REFERENCES

Hou, Z. (2023). Fault detection and diagnosis of air brake system. *Journal of Manufacturing Systems*, 71, 34-58.

Saikiran, N., Nalini, T. & Gayathri, A. (2025). Predictive Maintenance of Heavy-Duty Vehicles to Predict the Emitters Using Deep Learning. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1363 LNNS, 13-25.

Sridhar N., Subramaniyam, K., Subramanian, S., Vivekanandan, G., & Sivaram, S. (2017). Model Based Control of Heavy Road Vehicle Brakes for Active Safety Applications, *14th IEEE India Council International Conference (INDICON)*, Roorkee, India, 1-6.