

Obsah

Úvod	5
1. Dynamické charakteristiky vozidla a koleje	7
1.1 Vazby ve vozidle a koleji	7
1.2 Vypružení	10
1.2.1 Parametry vypružení — základní vztahy	10
1.2.2 Vypružení v rovině yz	15
1.2.3 Vypružení v rovině xy , vzájemná vazba dvojkolí	17
1.3 Dynamické charakteristiky koleje	19
1.3.1 Statický případ	19
1.3.2 Dynamický případ	21
1.4 Dynamické charakteristiky vozidla	23
1.5 Přehled teorie náhodných procesů	27
1.6 Souhrn kap. 1	34
2. Vedení vozidla v koleji	35
2.1 Vozidlo v oblouku koleje	35
2.1.1 Vliv zakřivení koleje na vozidlo	35
2.1.2 Poloha vozidla v kanálu koleje	37
2.2 Adhezí vazba kola s kolejničí	39
2.3 Geometrická vazba dvojkolí s kolejí	45
2.4 Vedení vozidla v přímé koleji	48
2.5 Vedení vozidla v oblouku — dvojkolí vedená v rámu v horizontálních směrech tuze	50
2.5.1 Základní vztahy	50
2.5.2 Nebezpečí vykolejení	51
2.5.3 Výpočet řídících sil	53
2.5.4 Jízdní odpor oblouku	60
2.6 Vedení dvounápravového podvozku s rejdovými dvojkolími v oblouku koleje	61
2.6.1 Vstupní parametry matematického modelu	61
2.6.2 Výstupní parametry matematického modelu	62
2.6.3 Výpočet jízdního odporu oblouku a sil vedení	64
2.7 Souhrn kap. 2	69
3. Svislé kmity vozidla	71
3.1 Buzení svislých kmitů vozidla nerovnostmi koleje	71
3.2 Svislé kmity vozidla s lineárními vazbami	73
3.3 Svislé kmity vozidla s nelineárními vazbami	75
3.3.1 Použitá označení	76
3.3.2 Negel	76
3.3.3 Metodika řešení nelineární soustavy vypružení vozu buzeného náhodnými svislými nerovnostmi koleje	78
3.3.4 Volba optimálních parametrů negelů a výpočet známky jakosti chodu vozidla	82
3.3.5 Porovnání teoretického řešení s výsledky experimentálního ověřování negelů	84
3.3.6 Souhrn části 3.3	85
3.4 Svislé kmity ohebné skříňové kolejevo vozidla	85
3.4.1 Frekvenční přenos čtyřnápravového vozidla	88
3.5 Účinky jízdy na kolej, člověka, vozidlo a náklad	94
3.5.1 Účinky jízdy na kolej	94
3.5.2 Účinek kmitů vozidla na člověka, vozidlo a náklad	95
3.6 Souhrn kap. 3	97
4. Kmitání kolejových vozidel v příčném směru	98
4.1 Teorie kontaktních sil ve styku kolo—kolejnice	98

4.2	Kalkerova lineární teorie	99
4.3	Vlnivý pohyb dvojkolí po přímé koleji při uvažování nelinearity ve styku kola s kolejnicí	100
4.3.1	Příčná a úhlová gravitační tuhost dvojkolí	104
4.3.2	Zjednodušené pohybové rovnice dvojkolí	105
4.3.3	Simulační metody — výpočet vlnivého pohybu dvojkolí, použití Galerkinovy linearizace pro výpočet limitních cyklů	107
4.4	Výpočet vlnivého pohybu podvozku s pružně vedeným dvojkolím, výpočet limitních cyklů	114
4.5	Matematický model dvounápravového vozidla v prostorovém uspořádání	117
4.5.1	Lineární vztahy pro popis styku kola s kolejnicí	117
4.5.2	Výpočet sil a momentů působících na jednotlivá dvojkolí kolejového vozidla	121
4.5.3	Pohybové rovnice příčného kmitání kolejového vozidla	121
4.5.4	Výpočet stability příčného kmitání kolejového vozidla	124
4.5.5	Výpočet frekvenčních charakteristik příčného kmitání kolejového vozidla	132
4.6	Odezva vozidla na náhodné buzení	137
4.6.1	Doplňující definice a vztahy z teorie náhodných procesů	137
4.6.2	Odezva dynamického systému s jedním vstupem	139
4.6.3	Odezva dynamického systému s více vstupy	139
4.6.4	Použití metody statistické linearizace pro výpočet frekvenčních charakteristik příčného kmitání vozidla	145
4.7	Souhrn kap. 4	152
5.	Výpočet silové a napěťové odezvy v jednotlivých částech kolejového vozidla	153
5.1	Aplikace metody konečných prvků při výpočtech jízdních vlastností kolejových vozidel a výpočtech dynamického namáhání jejich částí	153
5.1.1	Rovnice rovnováhy třírozměrného kontinua	153
5.1.2	Metoda konečných prvků — MKP	154
5.1.3	Výpočet vlastních frekvencí dynamické soustavy	157
5.1.4	Odezva dynamického systému na harmonické buzení	157
5.1.5	Výpočet výkonové spektrální hustoty (VSH) odezvy dynamického systému	158
5.2	Výpočet dynamických poměrů na lokomotivě, včetně výpočtu napěťové odezvy v nápravě dvojkolí	159
5.2.1	Metodika výpočtu	163
5.2.2	Souhrn výsledků výpočtů	164
5.3	Dynamické vlastnosti lokomotivy při přenosu tažných sil šikmými tyčemi	167
5.3.1	Úvod	167
5.3.2	Zjednodušený dynamický model pro výpočet podélných kmitů podvozku	168
5.3.3	Charakteristika tuhosti pružného přenosu tažné síly	169
5.3.4	Analýza zjednodušeného dynamického systému	170
5.3.5	Návrh odpružení šikmých tyčí z dynamického hlediska	173
5.3.6	Analýza dynamických jevů při použití metody konečných prvků	175
5.3.7	Souhrn výsledků	179
5.3.8	Vliv přenosu tažné síly šikmými tyčemi na adhezní vlastnosti	180
5.3.8.1	Dynamický model pohonu nápravy	181
5.3.8.2	Aplikace metody strukturálních prvků	182
5.3.8.3	Vliv zhoršených adhezních podmínek	183
5.3.8.4	Souhrn odst. 5.3.8	184
5.4	Výpočet napěťové odezvy na rámu podvozku lokomotivy při náhodném buzení	185
5.4.1	Souhrn části 5.4	197
5.5	Souhrn kap. 5	198
6.	Účinky jízdy vozidla na pohon dvojkolí	200
6.1	Vliv nerovnosti tratě na dynamiku pohonu nápravy tlakovým motorem	200
6.1.1	Klasifikace nerovností tratě	201
6.1.1.1	Nerovnosti koleje mezi kolejnicovými styky	201
6.1.1.2	Nerovnosti dané kolejnicovými styky	202
6.1.2	Popis mechanické části pohonu	204
6.1.2.1	Metoda impulsních odezev v dynamice mechanické části pohonu	209
6.1.2.2	Aplikace metody strukturálních prvků	215
6.1.3	Popis elektrické části pohonu	225
6.1.3.1	Vlastní kmitání elektrického obvodu	228
6.1.3.2	Vybuzení kmitání elektrického obvodu	232
6.1.4	Interakce mechanické a elektrické části pohonu	235
6.1.4.1	Vliv tlumičů prvotního vypružení	237
6.1.4.2	Vliv uložení tlap elektromotoru na nápravě	239

6.1.4.3	Vliv torzní tuhosti pohonu nápravy	239
6.1.5	Souhrn části 6.1	240
6.2	Dynamika pohonu dvojkolí kloubovou spojkou umístěnou v dutém rotoru	241
6.2.1	Torzní kmitání pohonu s uvažováním stochastického buzení	241
6.2.2	Analýza dynamických sil při neperiodickém buzení z tratě	244
6.2.2.1	Výpočet klasické konstrukce podvozku elektrické lokomotivy	244
6.2.2.2	Výpočet konstrukce se šikmou závěskou převodové skříně	249
6.2.3	Ráz v ozubeném převodu pohonu nápravy	252
6.2.3.1	Vysokofrekvenční kmitý	253
6.2.3.2	Tři fáze rázu	254
6.2.4	Souhrn části 6.2	256
6.3	Vliv nerovnosti tratě na dynamiku skupinového pohonu kloubovým hřídelem	256
6.3.1	Kinematické vztahy v pohonu kloubovým hřídelem	256
6.3.2	Sestavení pohybové rovnice	258
6.3.3	Řešení soustavy v oblasti hlavní rezonance	258
6.3.4	Řešení soustavy v oblasti subharmonické rezonance řádu 1/2	261
6.3.5	Určení stability řešení	262
6.3.5.1	Klasifikace charakteru jednotlivých řešení	262
6.3.5.2	Určení oblastí přitažlivosti	263
6.3.6	Souhrn části 6.3	264
7.	Vliv pohonu nápravy na adhezi vozidla	265
7.1	Dynamika pohonu nápravy při překročení meze adheze	265
7.1.1	Momentové charakteristiky trakčního elektromotoru	265
7.1.2	Sklužové charakteristiky ve styku kola s kolejnici	270
7.1.3	Pohybové rovnice dynamické soustavy pohonu nápravy	276
7.1.4	Přechodové jevy při poklesu součinitele adheze	278
7.1.4.1	Vliv strmosti charakteristiky elektromotoru	279
7.1.4.2	Vliv torzní tuhosti pohonu nápravy	282
7.1.4.3	Vliv tlumení pohonu nápravy	284
7.1.4.4	Vliv poměru hmotných momentů setrvačnosti	284
7.1.4.5	Odvozené veličiny	285
7.1.5	Určení podmínek stability po překročení meze adheze	287
7.1.5.1	Analytická formulace sklužové charakteristiky	287
7.1.5.2	Redukce pohybových rovnic	288
7.1.5.3	Analytické určení hranic stability	291
7.1.5.4	Přímé numerické řešení případů stability	297
7.1.6	Souhrn části 7.1	301
7.2	Prokluz dvojkolí s uvažováním elektrické vazby pohonu	302
7.2.1	Popis mechanického systému	302
7.2.2	Popis elektrické části pohonu	303
7.2.3	Sestavení simulačního programu	304
7.2.4	Přechodové jevy při prokluzu dvojkolí	307
7.2.4.1	Zachycení prokluzu na kladné větvi sklužové charakteristiky	307
7.2.4.2	Překročení meze adheze bez zachycení vzniklého prokluzu	307
7.2.4.3	Návrat soustavy ze skluzu na původní stav snížením napětí generátoru	309
7.2.4.4	Vliv dynamických parametrů soustavy na průběh přechodového děje	311
7.2.5	Souhrn části 7.2	313
7.3	Vliv zásahu protisklužové ochrany	313
7.3.1	Funkce sklužových ochran	314
7.3.2	Sklužová ochrana komparační	314
7.3.3	Sklužová ochrana komparační s časovým zpožděním	316
7.3.4	Sklužová ochrana dvoupolohová integrační	317
7.3.5	Sklužová ochrana spojitá proporcionální	318
7.3.6	Souhrn části 7.3	319
7.4	Analýza torzních kmitů při prokluzu nesymetrického pohonu nápravy	320
7.4.1	Popis elektro-mechanického systému pohonu	320
7.4.1.1	Pohybové rovnice mechanické části	320
7.4.1.2	Popis elektrické části pohonu	322
7.4.2	Přechodový jev prokluzu dvojkolí	322
7.4.3	Souhrn části 7.4	323
	Literatura	324
	Resumé	329