

Obsah

1. Hospodářský význam naftových motorů	13
2. Pracovní pochody naftového motoru	16
2.1 Použitá označení	16
2.2 Pracovní pochody naftového motoru — indikátorové diagramy	17
2.3 Tepelná rozvaha naftového motoru	27
2.3.1 Chemická účinnost	29
2.3.2 Tepelná (termická) účinnost	30
2.3.3 Velikost tepelné účinnosti pro různé teoretické pracovní oběhy	31
2.3.3.1 Oběh výbušný	31
2.3.3.2 Oběh rovnotlaký	32
2.3.3.3 Oběh smíšený	33
2.3.4 Stupeň plnosti diagramu	33
2.3.5 Mechanická účinnost	33
2.3.6 Indikovaná účinnost	36
2.3.7 Ostatní druhy účinnosti motoru	36
2.4 Vliv plochy diagramu vzniklé při výměně obsahu válce na termickou účinnost	37
3. Návrh hlavních rozměrů naftového motoru a porovnávací hlediska	40
3.1 Použitá označení	40
3.2 Návrh hlavních rozměrů naftového motoru	40
3.3 Celkové uspořádání motoru	43
3.4 Pořad vstřikování	44
3.5 Porovnávací hlediska podobnosti motorů	44
3.5.1 Hlediska dynamická	44
3.5.2 Hlediska termomechanická	49
3.5.3 Hlediska technologická	50
3.5.4 Hlediska hospodárnosti	52
3.6 Charakteristiky motorů	53
4. Kompresní prostory naftových motorů	60
4.1 Všeobecně	60
4.2 Teorie kompresních prostorů	60
4.2.1 Tvoření směsi	62
4.2.2 Proudění ve válci během kompresního zdvihu	63
4.3 Porovnání typů kompresních prostorů	69
4.3.1 Motory s přímým vstřikem	71
4.3.2 Motory komůrkové (s nepřímým vstřikem)	71
4.3.2.1 Motory s tlakovou komůrkou	72
4.3.2.2 Motory s vírovou komůrkou	72
4.3.2.3 Motory se vzduchovou komůrkou	73
4.4 Konstrukční řešení kompresních prostorů	74
4.4.1 Motory s přímým vstřikem	74

4.4.2	Motory s tlakovou komůrkou	76
4.4.3	Motory s vírovou komůrkou	77
4.4.4	Motory se vzduchovou komůrkou	79
5.	Příprava spalování a spalování v naftových motorech	80
5.1	Komprese	80
5.2	Vstřík paliva	80
5.3	Zpoždění vznětu	82
5.4	Vlivy působící na průběh spalovacího pochodu	84
5.5	Spalování	86
6.	Klikové ústrojí všeobecně	88
6.1	Kinematika klikového ústrojí	90
6.1.1	Pohyb pístu (posuvných hmot)	90
6.1.2	Pohyb ojníce	93
6.2	Určení sil v klikovém ústrojí	93
6.2.1	Vnitřní a vnější síly	93
6.2.2	Rozdělení hmot — redukce sil	94
6.2.3	Síly působící na píst	97
6.2.4	Síly působící na klikový čep — tangenciální a radiální síla	100
6.2.5	Zatížení ojnicích a hlavních ložisek	103
6.2.6	Harmonické složky kroutícího momentu	105
7.	Klikový hřídel	111
7.1	Výpočet pevnosti klikového hřídele	111
7.1.1	Zatěžující síly a momenty	112
7.1.1.1	Stanovení průběhu kroutícího momentu	112
7.1.1.2	Stanovení průběhu ohybových momentů	114
7.1.2	Výpočet jmenovitých napětí a míry bezpečnosti	115
7.1.2.1	Ohybová napětí v rovině kliky	116
7.1.2.2	Krutová napětí a ohybová napětí v rovině kolmé ke klíce	119
7.1.2.3	Výpočet míry bezpečnosti v únavě	121
7.1.3	Tvarová pevnost klikového hřídele	123
7.1.3.1	Vliv tvaru	123
7.1.3.2	Vliv velikosti	127
7.1.3.3	Vliv materiálu a jeho zpracování	127
7.2	Konstrukční hlediska a volba materiálu	129
7.2.1	Hřídele rychloběžných řadových motorů	131
7.2.2	Hřídele rychloběžných motorů s válci do V	133
7.2.3	Klikový hřídel stacionárních a lodních motorů	133
7.2.4	Dělení klikové hřídele	139
7.2.5	Příruby pro setrvačnick	140
7.2.6	Protizávaží (vývažky)	141
7.2.7	Materiál klikových hřídelů	144
7.2.7.1	Lité hřídele	146
7.2.7.2	Materiál litých klikových hřídelů	147
7.2.8	Provozní, výrobní a kontrolní zásady	148
8.	Píst s příslušenstvím	152
8.1	Všeobecně	152
8.1.1	Použitá označení	152
8.2	Konstrukce pístu	153
8.3	Vtule pístu	160
8.4	Chlazení pístu	165
8.5	Materiál pístu	173
8.5.1	Písty železné	173
8.5.2	Písty z lehkých slitin	174
8.6	Úprava povrchu pístu	175
8.7	Pístní kroužky	178
8.7.1	Všeobecně	178
8.7.2	Konstrukce pístních kroužků	179
8.7.3	Materiál pístních kroužků	183

8.7.4	Výpočet pístních kroužků	185
8.7.5	Kontrola jakosti pístních kroužků	186
8.8	Pístní čep	188
8.8.1	Kontrola rozměrů pístního čepu	191
9.	Ojnice	193
9.1	Použitá označení	193
9.2	Všeobecně	194
9.3	Výpočet ojnice	197
9.3.1	Oko ojnice jednoočinného motoru	197
9.3.2	Výpočet napětí v oku ojnice	198
9.3.2.1	Napětí od nalisování pouzdra	198
9.3.2.2	Napětí od setrvačných sil	199
9.3.3	Deformační kontrola oka ojnice	201
9.4	Dřík ojnice	201
9.5	Hlava ojnice	204
9.6	Ojniční šrouby	210
9.7	Konstrukční řešení ojnic	214
9.7.1	Ojnice motorů bez křížáku	215
9.7.2	Ojnice motorů s křížákem	225
9.8	Materiál ojnic	225
10.	Ojniční a kliková ložiska	229
10.1	Všeobecně	229
10.2	Výpočet hlavních rozměrů ložisek	229
10.2.1	Použitá označení	229
10.2.2	Ložiska kluzná	230
10.2.3	Ložiska valivá	235
10.3	Materiál kluzných ložisek	237
10.3.1	Kompozice	240
10.3.2	Bronzy	240
10.3.3	Jiné ložiskové kovy	241
10.4	Konstrukce a tolerance ložisek	242
10.4.1	Ložiska kluzná	242
10.4.2	Ložiska valivá	248
11.	Vyvažování klikového ústrojí	249
11.1	Všeobecně	249
11.1.1	Použitá označení	250
11.2	Kvalitativní rozbor setrvačných sil a momentů	251
11.3	Vyvažování klikového ústrojí u jednoválcového motoru	254
11.4	Vyvažování klikového ústrojí řadových motorů	261
11.4.1	Setrvačné síly otáčejících se hmot	262
11.4.2	Setrvačné síly posuvných hmot	263
11.4.3	Volné podélné momenty otáčejících se hmot	267
11.4.4	Volné podélné momenty posuvných hmot	271
11.4.5	Vnitřní podélné momenty otáčejících se a posuvných hmot	275
11.4.6	Příčné momenty od kývavého pohybu ojnic	276
11.5	Hodnoty nevyvážených setrvačných sil a momentů řadových motorů	278
11.6	Vyvažování klikového ústrojí motorů s několika řadami válečků	278
11.7	Hodnoty nevyvážených setrvačných sil a momentů čtyřdobých motorů s válečky do V	287
11.8	Vyvažování klikového ústrojí hvězdicových motorů	287
12.	Kmitání klikových hřídelů	289
12.1	Všeobecně	289
12.2	Náhradní torzní soustava	291
12.2.1	Redukce hmot	292
12.2.2	Redukce délek	297
12.2.2.1	Redukovaná délka zalomení	299
12.3	Vlastní torzní kmitání soustavy	300

12.3.1	Soustava s jednou hmotou	303
12.3.2	Dvuhmotová soustava	304
12.3.3	Třihmotová soustava	304
12.3.4	Několikahmotová soustava	306
12.4	Vynucené torzní kmitání	311
12.4.1	Budící sly a momenty	311
12.4.2	Vynucené torzní kmitání soustavy s jednou hmotou	311
12.4.3	Výpočet vynuceného torzního kmitání klikových hřídelů	313
12.4.3.1	Kritické otáčky	313
12.4.3.2	Vydatnost rezonancí	313
12.4.3.3	Torzní výchylky v rezonanci	318
12.4.3.4	Tlumení	321
12.4.3.5	Torzní výchylky v mimorezonančních oblastech	323
12.4.3.6	Rezonanční křivky	324
12.4.4	Namáhání klikového hřídele torzními vibracemi	326
12.4.5	Měření torzního kmitání	327
12.5	Odstranění a útlum torzního kmitání	329
12.5.1	Prostředky ke zmenšení torzního kmitání	329
12.5.1.1	Odstranění nebezpečných kritických otáček z provozu	329
12.5.1.2	Vliv na vydatnost rezonancí	329
12.5.1.3	Útlum kmitání	330
12.5.2	Tlumiče torzního kmitání	330
12.5.2.1	Těci tlumiče	330
12.5.2.2	Funke a výpočet silikonového tlumiče	334
12.5.2.3	Rezonanční tlumiče	340
12.5.2.4	Dynamické tlumiče (eliminátory)	346
13.	Setrvačnik	352
13.1	Pojem nerovnoměrnosti chodu	352
13.1.1	Použitá označení	353
13.2	Diagram tangenciálních sil u několikaválcových motorů	354
13.3	Určení velikosti setrvačniku a nerovnoměrnosti chodu. Úhel kývání setrvačniku	357
13.3.1	Určení přebytku práce	357
13.3.2	Určení nerovnoměrnosti chodu	359
13.3.3	Určení velikosti setrvačniku	360
13.3.4	Určení velikosti setrvačniku bez kreslení tangenciálního diagramu	361
13.3.5	Úhel kývání setrvačniku	363
13.3.6	Měření nerovnoměrnosti chodu	364
13.3.7	Příklad	365
13.3.8	Vliv pružnosti klikového hřídele na nerovnoměrnost chodu	369
13.3.9	Regulace a akumulace energie	370
13.4	Nerovnoměrnost chodu a potřebná velikost setrvačníků u soustrojí s naftovým motorem a elektrickým generátorem	371
13.4.1	Výpočet míry nerovnoměrnosti chodu a úhlů kývání soustrojí	371
13.4.2	Připustné hodnoty míry nerovnoměrnosti chodu a úhlů kývání soustrojí	373
13.4.3	Velikost setrvačníků naftových motorů pro pohon synchronních alternátorů	374
13.5	Konstrukce setrvačníků	376
14.	Ventilový rozvod naftových motorů	380
14.1	Použitá označení	380
14.2	Druhy rozvodů	382
14.2.1	Všeobecné	382
14.2.2	Ventilové rozvody naftových motorů	383
14.3	Přítoková plocha a časování ventilů	384
14.3.1	Hlediska pro volbu časování rozvodu čtyřdobých naftových motorů	385
14.4	Vačky ventilových mechanických rozvodů	386
14.4.1	Druhy vaček	387
14.4.2	Určení činných úhlů vaček čtyřdobých motorů	387
14.5	Kinematika tuhých rozvodů	388
14.5.1	Vačky s boky z přímek a kruhových oblouků	388
14.5.1.1	Vačka s plochým zdvihátkem a kruhovými boky	388
14.5.1.2	Vačka s kladkou	391

14.5.2	Geometrické znázornění veličin u centrického mechanismu	395
14.5.3	Vačky s boky vytvořenými podle zvoleného průběhu některé úrovně veličiny	397
14.5.4	Vačky odvozené z předem navrženého průběhu druhé derivace zdvihu	397
14.5.4.1	Druhá derivace zdvihové čáry vačky složená z přímeek	397
14.5.4.2	Druhá derivace zdvihové čáry vačky složená z parabol, kuželoseček apod.	399
14.5.4.3	Vačka s eliptickým průběhem zrychlení	401
14.5.5	Vačky z předem navržené zdvihové křivky	403
14.5.5.1	Zdihová funkce vyjádřená mnohočlenem	404
14.5.5.2	Některé tvary základní funkce v	405
14.5.6	Převod pohybu z vačky na ventil	406
14.5.7	Kmitání pružných rozvodů	408
14.5.7.1	Vliv nerovnoměrného otáčení vačkového hřídele na zdvih, rychlost zvedání a zrychlení zdvihátka	414
14.5.7.2	Výsledný průběh zrychlení v rozvodu	415
14.5.8	Kmitání pružin při rovnoměrném otáčení vačky	415
14.5.8.1	Druhy kmitání šroubových válcových ventilových pružin	416
14.5.9	Vlivy působící na kmitání závitů pružin	419
14.6	Vůle v rozvodu a její vymezení	421
14.6.1	Stanovení velikosti vůle v rozvodu	421
14.6.2	Vymezení vůle	422
14.6.3	Náběh k vymezení vůle rozvodu	424
14.7	Ventilové pružiny	426
14.7.1	Výpočet ventilových pružin. Zjištění sil působících na pružinu	426
14.7.2	Výpočet pevnosti pružiny	427
14.7.3	Poruchy ventilových pružin	431
14.7.3.1	Poruchy ventilových pružin překročením trvalé pevnosti	431
14.7.3.2	Poruchy pružin, způsobené nevhodným materiálem nebo špatnou výrobou	433
14.8	Vačky a vačkové hřídele	433
14.8.1	Průměr vačkového hřídele	436
14.8.2	Postavení vaček na vačkovém hřídeli	436
14.8.2.1	Motory řadové	436
14.8.2.2	Motory s válci do V a jiné typy s válci v několika řadách	437
14.8.2.3	Motory hvězdicové	438
14.8.3	Pohon vačkového hřídele	440
14.9	Zdvihátka ventilů (zvedáky)	443
14.10	Rozvodové tyčky (zvedákové tyče)	445
14.11	Vahadlo ventilu	448
14.12	Ventily	448
14.13	Vedení ventilů	455
14.14	Sedla ventilů	457
15.	Vstřikovací zařízení naftových motorů	459
15.1	Všeobecně	459
15.1.1	Použitá označení	459
15.2	Návrh vstřikovacího zařízení	461
15.3	Matematické řešení vstřikování	462
15.3.1	Rovnice neustáleného průtoku v potrubí	462
15.3.2	Dynamický pochod ve vstřikovacím zařízení a základní pojmy	464
15.3.3	Výpočet dopravní vlny	464
15.3.4	Vliv škrcení na počátku a na konci dopravy paliva	468
15.3.4.1	Škrcení na konci dodávky paliva	470
15.3.4.2	Škrcení na počátku dopravy paliva	470
15.4	Vstřikovací pochody v trysce	471
15.4.1	Otevřená tryska	471
15.4.2	Zavřená tryska	473
15.5	Vliv jednotlivých členů vstřikovacího zařízení, paliva a protitlaku na vstřikovací děj	478
15.5.1	Možnost posouzení jednotlivých vlivů	478
15.5.2	Dopravní ráz, kritický tlak a charakter zpětné vlny jako všeobecné platné měřítko pro posouzení vstřikování i jednotlivých vlivů	479
15.5.3	Základní vlivy charakteru zpětné vlny	480

15.5.4	Vliv proměnnosti modulu pružnosti paliva	480
15.5.5	Vliv protitlaku na vstřikovací zákon	481
15.5.6	Vliv vlastností paliva na vstřikovací zákon	482
15.5.7	Zpoždění vstřiku a doba vstřiku	482
15.5.8	Nedokonalé plnění čerpadla	483
15.6	Měření, měřicí způsoby a přístroje	483
15.6.1	Pokusné zjišťování vstřikovacího zákona	483
15.6.2	Měření průběhu tlaků	484
15.6.3	Měření pohybu jehly trysky	488
15.6.4	Stroboskopické pozorování vstřikovacího paprsku	488
15.6.5	Zkoušky v tlakové bombě	488
15.7	Konstrukce a celkové uspořádání vstřikovacího zařízení	489
15.7.1	Vstřikovací čerpadla	490
15.7.1.1	Vstřikovací čerpadla s regulací množství změnou zdvihu pístu	491
15.7.1.2	Vstřikovací čerpadla s regulací přepouštěním	491
15.7.1.3	Vstřikovací čerpadla s regulací škrcením	494
15.7.1.4	Akumulační vstřikovací čerpadla	494
15.7.2	Několikapístová čerpadla s rozdělovačem	496
15.7.3	Jednopístová čerpadla s rozdělovačem	496
15.7.4	Vstřikovací jednotky (kombinace čerpadla s tryskou)	496
15.7.5	Výtlačné ventily	497
15.7.6	Dopravní palivová čerpadla	499
15.7.6.1	Pístová čerpadla	499
15.7.6.2	Zubová čerpadla	501
15.7.6.3	Křídlová čerpadla	501
15.7.7	Vstřikovací trysky	501
15.7.7.1	Otevřené trysky	502
15.7.7.2	Zavřené trysky	503
15.7.8	Držáky trysek	506
15.7.9	Přesuvníky (měniče) vstřiku	506
15.7.10	Čističe paliva	510
15.7.10.1	Celkové uspořádání	510
15.7.10.2	Druhy čističů	511
15.7.11	Vstřikovací potrubí	512
16.	Regulace naftových motorů	513
16.1	Všeobecné	513
16.2	Základní pojmy regulace	514
16.2.1	Použitá označení	514
16.2.2	Charakteristika regulátoru	515
16.2.3	Nerovnoměrnost a necitlivost regulace	518
16.2.4	Dynamika regulačního pochodu	519
16.3	Přímocinná regulace a regulátory	521
16.3.1	Mechanické regulátory	521
16.3.2	Přímocinné regulátory hydraulické	525
16.3.3	Přímocinné regulátory pneumatické	526
16.4	Nepřímocinná regulace a regulátory	527
16.5	Katarakty (tlumiče)	531
16.6	Korektory	531
16.7	Ovládání a řízení regulátorů	532
16.8	Závěr	533
	Literatura	534
	Rejstřík	537