

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Љубисав Крсмановић

Александар Гајић

ТУРБОМАШИНЕ

ПУМПЕ



Машински факултет
Београд

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Љ. Крсмановић

А. Гајић

ТУРБОМАШИНЕ

Пумпе

Машински факултет
Београд 2015.

Др Љубисав Крсмановић,

редовни професор у пензији Машинског факултета у Београду

Др Александар Гајић,

редовни професор Машинског факултета у Београду

ТУРБОМАШИНЕ - Пумпе

Рецензенти: Др Станислав Пејовић, редовни професор Машинског факултета у Београду

Др Живорад Стојановић, редовни професор у пензији Машинског факултета у Београду

Издавач:

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ,

Краљице Марије 16, Београд

Штампање одобрила:

Комисија за издавачку делатност машинског факултета

За издавача:

проф. др Милорад Милованчевић, декан

Одлука декана број 280/14 од 02.10.2014. године

Тираж: 200 примерака

Штампа:

„Планета принт”, Београд

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

62-135(075.8)

621.65/.69(075.8)

КРСМАНОВИЋ, Љубисав, 1923-2005

Турбомашине. Пумпе / Љ.[Љубисав] Крсмановић,
А.[Александар] Гајић. - 2. изд. - Београд : Машински факултет,
2015 (Београд : Планета принт). - II, 328 стр. : граф. прикази ; 25 cm

На врху насл. стр.: Универзитет у Београду. - Тираж 200. -
Библиографија: стр. 319-322. - Регистри.

ISBN 978-86-7083-850-5

1. Гајић, Александар, 1950- [аутор] а) Турбомашине б) Пумпе
COBISS.SR-ID 212722444

© Забрањено прештампавање и фотокопирање.

Сва права задржавају аутори и издавач.

ПРЕДГОВОР II ИЗДАЊУ

Ова књига представља једну од пет књига које су под заједничким насловом ТУРБОМАШИНЕ објављене у издању Машинског факултета у Београду, и једне у издању Универзитета у Београду, почев од 1992. године. То су : ТУРБОМАШИНЕ – Теоријске основе, из 1992. г и из 2005. г, ТУРБОМАШИНЕ - Илустративни и испитни задаци, из 1993. г, ТУРБОМАШИНЕ – Пумпе из 1996. г, ТУРБОМАШИНЕ- Хидродинамички преносници снаге из 1998. г и из 2006. г. ТУРБОМАШИНЕ – Вентилатори, 2000. г. У овом издању су отклоњене уочене штампарске грешке и извршене незнатне допуне првог издања књиге под истим насловом, ТУРБОМАШИНЕ - Пумпе из 1996. године, истих аутора.

Обзиром да је прво издање распродато тиме су студенти који изучавају ову област, као и инжињери који се баве конструисањем пумпи, пројектовањем пумпних постројења и експлоатацијом водоводних система остали без потребне литературе. Пошто је први аутор, Проф. др Љубисав Крсмановић преминуо 2005. године, то сам припрему овог другог издања извршио самостално. Свака нова припрема текста укључује и могућност нових пропуста и штампарских грешака, па се унапред захваљујем пажљивим читаоцима ове књиге који ми буду указали на примећене грешке. Захваљујем се асс. мр Бојану Ивљанину на корисним сугестијама насталим као плод вишегодишње сарадње на предметима под насловом Турбомашине.

У Београду, септембра 2014.

Проф. др Александар ГАЈИЋ

САДРЖАЈ

1. ОПШТИ ДЕО.....	1
1.1. Опис и подела.....	1
1.2. Историјски развој.....	13
2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ.....	16
2.1 Струјање кроз турбомашине и процес размене енергије.....	16
2.2 Једначина континуитета.....	17
2.3 Ојлерова једначина кретања.....	18
2.4 Бернулијев интеграл Ојлерове једначине. Енергетска једначина.....	19
2.5 Размењена енергија. Јединични рад струје.....	20
2.6 Закон импулса. Рад кола (технички рад). Ојлерова једначина за турбомашине.....	21
2.7 Троуглови брзина.....	23
2.8 Проширена Ојлерова једначина. Убрзано и успорено струјање. Степен реакције.....	25
2.9 Хидраулични удар.....	26
2.10 Кавитација.....	31
3. РАДНА СВОЈСТВА ТУРБОМАШИНА.....	43
3.1 Степени корисности.....	43
3.2 Закони сличности.....	45
3.3 Карактеристике.....	50
3.4 Ефекат размере.....	54
3.5 Радне криве. Топографски дијаграми.....	56
3.6 Радно подручје.....	57
3.7 Брзоходост.....	59
3.8 Кавитационе карактеристике.....	61
3.10. Промене радних кривих због кавитације.....	66
3.11 Пумпање вискозних течности.....	69
3.12 Посебни радни режими.....	75
4. РАДНИ РЕЖИМИ ПУМПЕ У ЦЕВНОМ СИСТЕМУ.....	79
4.1. Успостављање радног режима.....	79
4.2. Прост цевовод.....	83
4.3 Разгранат цевовод са занемарљивим губицима у заједничком воду.....	85
4.4 Цевовод са успутним одливањем.....	88
4.5 Разгранати цевовод са занемарљивим губицима у заједничком доводу.....	92
4.6 Нестабилност при раду пумпе у цевном систему.....	95
4.7 Аналитичка и нумеричка решења.....	98
5. СПРЕЗАЊЕ ПУМПИ.....	100
5.1 Начин спрезања.....	100

5.2	Паралелна спрега	101
5.3	Сложенији случајеви паралелне спреге	106
5.4	Редна спрега	113
5.5	Редна или паралелна спрега	120
5.6	Редно-паралелни систем	120
6	РЕГУЛИСАЊЕ ПУМПИ	122
6.1	Сврха и врсте регулисања	122
6.2	Регулисање променом карактеристика пумпног система	123
6.3	Регулисање променом радне криве пумпе	127
6.4	Дисконтинуално регулисање	138
6.5	Елементи за поређење система регулације	142
7.	НЕНОРМАЛНИ РАДНИ УСЛОВИ ПУМПИ. ЧЕТВЕРОКВАДРАТ-НИ ДИЈАГРАМ	144
7.1	Опис појаве	144
7.2	Комплетне карактеристике пумпе	146
7.3	Ненормални режими у експлоатацији	149
7.4	Примери другачијих дијаграма	151
7.5	Специфичности рада пумпе у турбинском режиму	152
8.	ОДРЕЂИВАЊЕ ГЛАВНИХ МЕРА РАДИЈАЛНИХ И РАДИЈАЛНО-ОСНИХ ПУМПИ	155
8.1	Избор типа пумпе	155
8.2	Прорачун по сличности	158
8.3	Заношење струје	159
8.4	Процена степена корисности	164
8.5	Струјање кроз процепе	165
8.6	Отпор диска	170
8.7	Главне мере кола. Општи прилаз	172
8.8	Спороходо радијално коло са цилиндричним лопатицама. Преглед метода прорачуна	173
8.9	Прорачун радијалног кола по Пфлајдереру	173
8.10	Радијално коло. Прорачун према избору карактеристике рада	179
8.11	Радијално коло. Прорачун главних мера према препорученим бездимензијским коефицијентима	182
8.12	Радијално-осна кола	183
9.	ОСНЕ ПУМПЕ	188
9.1	Избор брзоходости	188
9.2	Моделу струјања кроз осна кола	188
9.3	Решетке профила и профили	190
9.4	Својства струјања око профила и кроз решетке	193
9.5	Силе које делују на профил	195
9.6	Струјно скрегање у решетци	201
9.7	Главне мере осне пумпе	206
9.8	Прорачун осних витоперих лопатица	209
10.	ПРОФИЛИСАЊЕ ЛОПАТИЦА	217
10.1	Полазни подаци	217
10.2	Цилиндричне радијалне лопатице (средња линија)	218
10.3	Радијално-осне витопере лопатице (средња површина)	226
10.4	Профилу сање радијалних, радијално-осних и осних лопатица	230

11. ОКЛОП ПУМПЕ	240
11.1. Елементи оклопа	240
11.2 Усисни део	241
11.3 Спирала	242
11.4 Усмерна кола (заколо и предколо)	248
11.5 Преводни канали вишестепених пумпи	251
12. ДЕЛОВАЊЕ СИЛА НА ОБРТНЕ ДЕЛОВЕ	252
12.1 Врсте сила	252
12.2 Силе тежине	252
12.3 Силе инерције	253
12.4 Осна сила (затворена кола)	255
12.5 Осна сила (отворена кола)	260
12.6 Уравнотежавање осних сила	263
12.7 Радијалне силе	272
13. ВАКУУМ-ПУМПЕ, ВИХОРНЕ ПУМПЕ И ХИДРАУЛИЧНИ ТУЧАК	278
13.1 Општи део	278
13.2 Вакуум-пумпе са воденим прстеном	279
13.3 Вихорне пумпе	282
13.4 Слободно-вихорне пумпе	286
13.5 Ударне пумпе	287
14. ПУМПЕ БЕЗ ПОКРЕТНИХ ДЕЛОВА	289
14.1 Ејектор	289
14.2 Мамут-пумпа	297
15. ИСПИТИВАЊЕ ПУМПИ	303
15.1 Намена и врсте испитивања	303
15.2 Услови испитивања	305
15.3 Испитивање при устаљеним режимима	307
15.4 Испитивање нестационарних појава	307
15.5 Штанд за испитивање радних карактеристика пумпи	309
15.6. Обрада података	311
15.7 Штанд за испитивање кавитационих особина пумпи	314
15.8 Приказ неких испитивања	315
Литература	319
Регистар појмова	323
Регистар имена	328

Резиме: Развој и подела пумпи, теоријске основе струјања, енергетске и кавитационе карактеристике пумпи. Посебно су обрађени стационарни радни режими пумпи у сложеним цевоводним системима и начини спрезања и регулисања пумпи, као и четвороквадрантни дијаграми и ненормални режими. Објашњено је одређивање главних мера радијалних и радијално-осних и аксијалних пумпи. Разрађено је профилисање лопатица кола и конструисање оклопа пумпе. Објашњене су силе које делују на обртне делове. Укратко су обрађене вакуум, вихорне и слободновихорне пумпе, хидраулички тучак и пумпе без обртних делова. На крају су приказани начини испитивања пумпи.

Проф. др Љубисав Крсмановић

Рођен је 1923. године у Јоховици, БиХ, а преминуо 2005. Године у Београду. Машински факултет је завршио 1954. г. на Универзитету у Београду. У непрекидном радном односу на Машинском факултету био је од 1958. до 1988. г. За редовног професора изабран је 1970 г. За почасног члана Саветника Академије инжењерских наука Србије изабран је 2004. г. Бавио се пројектовањем пумпи и вентилатора, развијањем производних програма за њихову израду, испитивањем у природи и на моделу турбина, пумпи, вентилатора и постројења са овим машинама. Из ових области држао је наставу на факултетима у Београду, Крагујевцу, Сарајеву, Скопљу, Новом Саду, Подгорици и Нишу. Руководио је израдом низа магистарских теза и докторских дисертација. Штампало је значајан број научних радова, од којих је већи број цитиран у домаћој и иностраној литератури. Био је активан у научним и стручним удружењима, носилац је више признања и захвалница за успешан рад. Одликован је Орденом рада са црвеном заставом.

Проф. др Александар Гајић

Рођен је 1950. године у Београду. Машински факултет је завршио 1974. г. а докторску дисертацију је одбранио 1983. на Универзитету у Београду. У непрекидном радном односу на Машинском факултету је од 1975. г. За редовног професора изабран је 1996 г. За редовног члана Академије инжењерских наука Србије изабран је 2009. г. Биран је за гостујућег професора на Универзитетима: Тохоку, Сендаи, Јапан, Шарми, Гетеборг и Политехнички универзитет у Темишвару. Бави се прорачунима и испитивањима прелазних режима у хидротехничким системима, анализом рада и пројектовањем хидроелектрана и водоводних система, конструисањем пумпи и вентилатора. Из ових области одржавао је наставу на матичном и другим факултетима у државама бивше СФРЈ. Хонорарни је срадник или консултант више института и факултета. Члан је руководства националних и међународних научних удружења IANR, IEC, UNIPED, ... Аутор је већег броја књига и уџбеника, преко 100 научних радова на српском, енглеском и руском језику, око 30 научних студија, око 200 стручних извештаја и пројеката. Држао је семинаре и предавања по позиву у Бразилу, Јапану, Кини, В. Британији, земљама бивше СФРЈ... Цитиран је у око 100 радова од аутора из многих држава из Европе, Азије, Америке. Био је у програмским или организационим одборима у преко 20 међународних симпозијума. Обављао је дужност специјалног саветника Министра енергетике и рударства и Државног секретара у Министарству просвете, науке и технолошког развоја.

