



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ



Живан Спасић
Јасмина Богдановић Јовановић
Милош Коцић
Вељко Беговић

ОСНОВЕ ТУРБОМАШИНА





УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ



Живан Спасић, Јасмина Богдановић Јовановић,
Милош Коцић, Вељко Беговић

ОСНОВЕ ТУРБОМАШИНА

Ниш, 2023.

ОСНОВЕ ТУРБОМАШИНА

Аутори:

др Живан Спасић

др Јасмина Богдановић Јовановић

др Милош Коцић

Вељко Беговић

Рецензенти:

др Драгица Миленковић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Нишу

др Вања Шуштершич, редовни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Дизајн корица и техничка припрема:

Јасмина Богдановић Јовановић

Издавач:

Машински факултет Универзитета у Нишу

Александра Медведева 14, 18000 Ниш

ISBN 978-86-6055-172-8

Штампа: Графика Галеб, Ниш

Тираж: 160 примерака

ШТАМПАЊЕ УЏБЕНИКА ОДОБРЕНО ЈЕ ОДЛУКАМА
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА У НИШУ
БР. 612-284-3-1/2023 и 612-284-3/2023 од 04.07.2023.

ПРЕДГОВОР

Основе турбомашина је уџбеник настао из потребе да се на једном месту обухвати садржај који се изучава у оквиру истоименог предмета. Аутори су желели да читаоцима, пре свега студентима техничких факултета прикажу основне појмове, принцип рада и основну теорију рада турбомашина. Овај уџбеник је у потпуности усаглашен са наставним планом и програмом предмета Основе турбомашина, који се изучава на основним академским студијама студијског програма Машинско инжењерство, Машинског факултета у Нишу.

Имајући у виду да турбомашине представљају велику и импозантну групу машина, чији је рад од виталног значаја за многе системе у стручној пракси, знање из ове области омогућава основне смернице, пре свега, у избору турбомашина, праћењу њиховог рада као и могућности њихове регулације.

Књига је конципирана у 15 поглавља, а бави се основама свих турбомашина: од струјних и термодинамичких основа, преко Ојлерове једначине за турбомашине, дефинисања радних параметара, до одређивања радних карактеристика и радних режима турбомашина. Нека поглавља овог уџбеника су такође посвећена спрезању турбомашина и могућностима регулације.

Велику захвалност аутори дугују рецензентима, др Драгици Миленковић и др Вањи Шуштершич, на утрошеном времену и корисним сугестијама.

Посебну захвалност изражавамо нашој професорки у пензији, др Драгици Миленковић, која је цео свој радни век несебично подучавала студенте и сараднике из области турбомашина, а чиме је директно и индиректно заслужна за настанак овог уџбеника.

У нади да ће овај уџбеник доживети и друго издање аутори ће са задовољством прихватити све сугестије и примедбе, који ће његов садржај побољшати и допунити.

У Нишу, јуна 2023.

Аутори

САДРЖАЈ

ОЗНАКЕ

1. УВОД У ТУРБОМАШИНЕ	1
1.1 Историјат турбомашина	1
1.2 Дефиниција и подела турбомашина	7
2. СТРУЈНЕ И ТЕРМОДИНАМИЧКЕ ОСНОВЕ	15
2.1 Струјне основе	15
2.1.1 Својства флуида	19
2.1.2 Једначина континуитета	22
2.1.3 Ојлерова једначина кретања флуида	24
2.2 Термодинамичке основе	27
2.2.1 Величине стања	27
2.2.2 Једначина стања	31
2.2.3 Први принцип термодинамике	32
2.2.4 Други принцип термодинамике	33
2.2.5 Промене стања у турбомашинама	34
3. ОСНОВНИ РАДНИ ПАРАМЕТРИ ТУРБОМАШИНА	41
3.1 Одређивање јединичног рада турбомашина према измереним струјним параметрима	43
3.1.1 Одређивање јединичног рада пумпи	43
3.1.2 Одређивање јединичног рада водних турбина	44
3.1.3 Одређивање јединичног рада турбокомпресора и вентилатора	45
3.1.4 Одређивање јединичног рада топлотних турбина	52

ОСНОВЕ ТУРБОМАШИНА

3.2 Одређивање јединичног рада турбомашина према траси цевовода на коју је прикључена	53
3.2.1 Одређивање јединичног рада пумпе према траси цевовода	53
3.2.2 Одређивање јединичног рада водних турбина према траси цевовода	55
4. БРЗИНЕ СТРУЈАЊА И ТРОУГЛОВИ БРЗИНА	57
5. ОЈЛЕРОВА ЈЕДНАЧИНА ЗА ТУРБОМАШИНЕ	61
6. УТИЦАЈ КОНАЧНОГ БРОЈА ЛОПАТИЦА НА ЈЕДИНИЧНИ РАД КОЛА	67
7. ПРОФИЛНЕ РЕШЕТКЕ	73
7.1 Врсте профилних решетки	75
8. СНАГЕ И СТЕПЕНИ КОРИСНОСТИ ТУБОМАШИНА	80
8.1 Снаге турбомашина	80
8.2 Степени корисности турбомашина	82
9. ТЕОРИЈА СЛИЧНОСТИ КОД ТУБОМАШИНА	85
9.1 Методологија добијања критеријума сличности	88
9.2 Тумачење физичког значења критеријума афине сличности	89
9.3 Основни критеријуми при моделирању турбомашина	94
9.4 Значица специфичног пречника	95
9.5 Значица кинематичког степена реакције	95
9.6 Значица специфичног броја обртаја	96
10. КАВИТАЦИЈА И УСИСНА ВИСИНА	97
10.1 Кавитација	97
10.2 Кавитацијска резерва турбопумпе Δh_P (NPSH _P)	102
10.3 Кавитацијска резерва турбине Δh_T (NPSH _T)	103

10.4 Кавитацијска резерва пумпног постројења и усисна висина	104
11. РАДНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ НЕТУРБИНА	106
11.1 Радне карактеристике турбопумпи	107
11.1.1 Прерачунавање радних карактеристика пумпе за други број обртаја	110
11.1.2 Карактеристика цевовода и радна тачка	112
11.1.3 Теоријско одређивање јединичног рада (напора) центрифугалне нетурбине	116
11.1.4 Експериментално одређивање радних карактеристика турбопумпи	119
11.2 Радни параметри и радне карактеристике вентилатора	127
11.2.1 Радни параметри вентилатора	128
11.2.2 Радне карактеристике вентилатора	131
11.2.3 Једначине за прерачунавање радних карактеристика вентилатора	132
11.2.4 Одређивање режима рада вентилатора према карактеристици мреже	133
12. РАДНИ РЕЖИМИ НЕТУРБИНЕ У ЦЕВНОМ СИСТЕМУ	135
12.1 Успостављање радног режима	135
12.2 Нестабилност при раду пумпе у цевном систему	137
12.2.1 Померање границе стабилности	139
12.3 Нестабилност при раду аксијалне нетурбине у цевном систему	141
13. СПРЕЗАЊЕ НЕТУРБИНА	143
13.1 Спрезање турбопумпи	144
13.1.1 Паралелна спрега турбопумпи	144

ОСНОВЕ ТУРБОМАШИНА

13.1.2 Редна спрега турбопумпи	148
13.1.3 Редна или паралелна спрега	152
13.2 Редно и паралелно повезивање вентилатора	154
13.2.1 Редно повезивање вентилатора	154
13.2.2 Паралелно повезивање вентилатора	157
14. РЕГУЛИСАЊЕ РАДА НЕТУРБИНА	160
14.1 Регулисање уградњом пригушног уређаја	162
14.2 Регулисање уградњом обилазног вода	164
14.3 Регулисање променом брзине обртања радног кола	167
14.4 Регулисање закретањем лопатица преткола	170
14.5 Регулисање закретањем лопатица радног кола	173
14.6 „Регулисање” подсецањем радног кола	174
14.7 Дисконтинулано регулисање рада	177
15. РАДНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ И РЕГУЛАЦИЈА РАДА ТУРБИНА	179
15.1 Радне карактеристике и регулација рада хидрауличних турбина	179
15.1.1 Облици карактеристика хидрауличких турбина	182
15.1.2 Поступак регулисања хидрауличких турбина	186
15.2 Радне карактеристике и регулација рада топлотних турбина	189
15.2.1 Радне карактеристике топлотних турбина	191
15.2.2 Регулација рада топлотних турбина	194
ЛИТЕРАТУРА	199

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

62-135(075.8)

ОСНОВЕ турбомашина / Живан Спасић ... [и др.].
- Ниш: Машински факултет Универзитета, 2023
(Ниш : Графика Галеб)

Тираж 160. - Напомене и библиографске
референце уз текст. - Библиографија: стр. 199-
202.

ISBN 978-86-6055-172-8

1. Спасић, Живан, 1960- [аутор]

а) Турбомашине