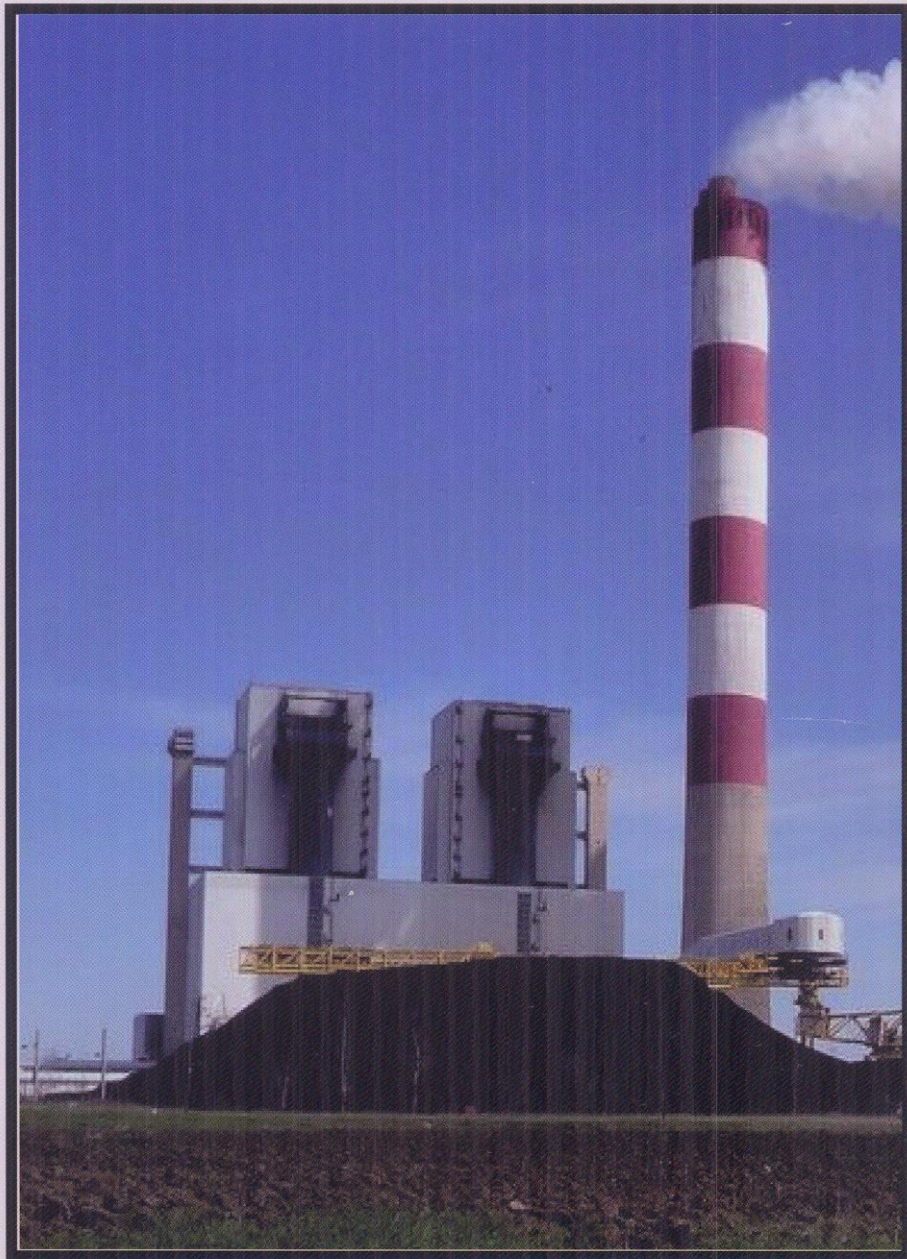


**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

**Љ. Бркић
Т. Живановић
Д. Туцаковић**



ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ

**БЕОГРАД
2015.**

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Љ. Бркић
Т. Живановић
Д. Туцаковић

ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ

ТРЕЋЕ ИЗДАЊЕ

Београд
2015.

Аутори:

Др Љубиша Бркић, редовни професор у пензији
Др Титослав Живановић, редовни професор
Др Драган Туцаковић, редовни професор

ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ

Треће издање

Рецензенти:

Др Милован Студовић, редовни професор у пензији
Др Бранислав Савић, редовни професор у пензији

Издавач:

Универзитет у Београду - Машински факултет
11120 Београд 35, Краљице Марије бр. 16
Тел: 011/3370-350 и 011/3302-384

За издавача:

Декан проф. др Радивоје Митровић

Главни и одговорни уредник:

Доц. др Владимир Буљак

Одобрено за штампу:

Одлуком Декана Машинског факултета Универзитета
у Београду бр 29/2015 од 09.11.2015.

Штампа:

ПЛАНЕТА ПРИНТ
11000 Београд

Тираж: 200 примерака

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.311.22(075.8)

БРКИЋ, Љубиша, 1938-

Термоелектране / Љ. [Љубиша] Бркић, Т.
[Титослав] Живановић, Д. [Драган] Туцаковић.
- 3. изд. - Београд : Машински факултет
Универзитета, 2015 (Београд : Планета принт). -
167 стр. : граф. прикази, табеле ; 30 cm

Тираж 200. - Библиографија: стр. 166-167.

ISBN 978-86-7083-888-8

1. Живановић, Титослав, 1950- [аутор]
2. Туцаковић, Драган, 1965- [аутор]
а) Термоелектране

COBISS.SR-ID 219561484

Прештампавање или умножавање није дозвољено.
Сва права задржавају аутори и издавач.

ПРЕДГОВОР

Мултидисциплинарност и сложеност пројектовања и експлоатације термоенергетских постројења веома отежава конципирање уџбеника који би у најширем обиму обухватио ову проблематику, што је највероватније разлог одсуства овакве књиге на српском језику, а и постојање релативно малог броја издања на страним језицима, нарочито књига са комплетно обрађеном материјом из ове области.

Конципирајући програм за предмет Термоелектране и топлане који слушају студенти Модула за термотехнику на Машинском факултету Универзитета у Београду, дошли смо до закључка да све услове задовољава књига Тепловые электрические станции аутора В.Я. Рыжкина издање Энергия, Москва 1996. Материја из ове књиге приказана је у скраћеном обиму, са измењеним ознакама, а у складу са потребама наставног програма.

У другом делу књиге представљена је метода погонског билансирања термоенергетских блокова коју су Група за топлотне турбомашине и Група за парне котлове обрадиле за све блокове српске електропривреде. Да би се олакшало праћење методологије приказан је скраћени пример са резултатима погонског билансирања једног термоенергетског блока.

Ова књига намењена је пре свега студентима Машинског факултета који слушају одговарајући предмет Термоелектране и топлане, а такође и младим инжењерима на почетку каријере како би се лакше снашли при улажењу у ову проблематику. Напомињемо да су области парних котлова и турбопостројења овде изостављене, с обзиром да се са њима студенти упознају у оквиру посебних предмета.

Најтоплоје се захваљујемо рецезентима др Миловану Студовићу, професору у пензији и др Браниславу Савићу, професору у пензији на труду који су уложили и примедбама које су нам доставили у намери да садржај ове књиге и њен ниво побољшају.

*Љ. Бркић
Т. Живановић
Д. Туцаковић*

САДРЖАЈ

1. Увод	7	4.3. Шеме и параметри накнадног прегревања паре	40
1.1. Потрошња енергије.....	7	4.3.1. Шеме накнадног прегревања паре	40
1.1.1. Потрошња електричне енергије	7	4.3.2. Параметри накнадно прегрејане паре	42
1.1.2. Потрошња топлотне енергије	9	5. Регенеративно загревање напојне воде	45
1.2. Подела термоелектрана	11	5.1. Увод.....	45
1.3. Технолошка шема термоелектране	13	5.2. Потрошња паре и топлоте турбопостројења са регенеративним загревањем	46
2. Степени корисности и топлотни биланс кондензационог термоенергетског блока	15	5.3. Степен корисности турбопостројења са регенеративним загревањем	49
2.1. Степени корисности	15	5.4. Једноступено и вишеступено регенеративно загревање	51
2.1.1. Степен корисности турбопостројења	17	5.5. Шеме регенеративног загревања	53
2.1.1.1. Термодинамички степен корисности циклуса	17	5.5.1. Шеме са контактним регенеративним загрејачима.....	53
2.1.1.1.1. Термодинамички степен корисности циклуса са накнадним прегревањем паре	18	5.5.2. Шеме са површинским регенеративним загрејачима	54
2.1.1.1.2. Термодинамички степен корисности циклуса са регенеративним загревањем	20	5.5.3. Комбинована шема регенеративног загревања.....	58
2.1.1.2. Унутрашњи степен корисности турбине	22	6. Губици паре, воде и кондензата и њихова попуна	62
2.1.1.3. Механички степен корисности турбине	22	6.1. Губици паре, воде и кондензата	62
2.1.1.4. Степен корисности генератора	22	6.2. Биланс паре и воде	63
2.1.2. Степен корисности котла	23	6.3. Степен корисности термоенергетског блока с обзиром на губитке паре, воде и кондензата	64
2.1.2. Степен корисности цевовода	23	7. Снабдевање термоелектрана водом	66
2.2. Топлотни биланс	23	7.1. Потрошња воде	66
2.3. Потрошња паре, топлоте и горива	25	7.2. Системи водоснабдевања	67
2.3.1. Постројење без накнадног прегревања.....	25	7.2.1. Увод	67
2.3.1. Постројење са накнадним прегревањем..	25	7.2.2. Отворени систем водоснабдевања	68
3. Топлотна економичност и енергетски показатељи топлификационих термо- електрана	27	7.2.3. Затворени систем водоснабдевања са акумулационим језерима	71
3.1. Увод	27	7.2.4. Затворени систем водоснабдевања са расхладним кулама	74
3.2. Потрошња паре и топлоте у топлификационим термоелектранама	29	7.2.5. Затворени систем водоснабдевања са уређајима за распршивање	78
3.2.1. Постројење са противпритисном турбином.....	29	7.3. Водени биланс термоелектрана	78
3.2.2. Постројење са кондензационом турбином са регулисаним одузи мањем паре.....	30	7.4. Коришћење отпадне топлоте	80
3.3. Степени корисности топлификационих постројења.....	32	7.5. Очување воденог басена	80
3.4. Поређење економичности производње елек- тричне енергије у термоелектрани топлани и кондензационој термоелектрани	32	7.5.1. Отпадна вода из депоније пепела	80
3.5. Поређење топлотне економичности топлификационе термоелектране и раздвојеног постројења	33	7.5.2. Вода запрљана мазутом и уљем	81
3.5.1. Поређење потрошње паре	33	7.5.3. Вода од прања парних котлова и регенеративних загрејача ваздуха	81
3.5.2. Поређење потрошње топлоте	34	7.5.4. Отпадна вода из хемијске припреме	81
4. Параметри паре термоенергетских блокова и накнадно прегревање	35	7.5.5. Отпадна вода од хемијског прања опреме	81
4.1. Увод	35	7.5.6. Температурски режим река и језера	82
4.2. Зависност топлотне економичности кондензационих турбопостројења од улазних параметара паре	36	8. Транспорт и складиштење горива	83
		8.1. Газдинство за чврсто гориво	83
		8.1.1. Карактеристике горива и њихов утицај на избор опреме газдинства за гориво	85
		8.1.2. Механизми унутрашњег транспорта	86
		8.1.2.1. Прорачун тракастих транспортера	87

8.1.3. Складишта	88	10.3. Начини смањења садржаја сумпорних оксида у димним гасовима	108
8.1.3.1. Складиште са радијалним уређа- јем за слагање и роторским пре- товаривачем-гусеничаром	89	10.4. Начини смањења садржаја азотних оксида у димним гасовима	110
8.1.3.2. Прстенасто складиште са обртним уређајем за слагање и роторским претоваривачем	90	10.5. Димњаци	111
8.1.3.3. Складишта са мосним краном	90	10.5.1. Прорачун висине димњака	114
8.1.3.4. Складиште са булдожерима	91	11. Локација и генерални план	
9. Транспорт шљаке и пепела	92	термоелектране	116
9.1. Увод	92	11.1. Избор локације	116
9.2. Хидраулички и хидропнеуматски транспорт	93	11.2. Генерални план	117
9.2.1. Хидраулички транспорт	93	12. Проблеми експлоатације	
9.2.2. Хидропнеуматски транспорт	97	термоелектрана	121
9.2.2.1. Пнеумохидраулички подизачи ..	97	12.1. Режији експлоатације постројења и блокова	121
9.2.2.2. Одвојени транспорт пепела	99	12.1.1. Стартовање постројења и блокова	121
9.2.3. Техничко-економски показатељи система хидрауличног и хидропне- уматског транспорта шљаке и пепела	99	12.1.2. Режим рада под оптерећењем	124
9.3. Пнеуматски транспорт шљаке и пепела	100	12.1.3. Обуштава рада постројења и блокова	124
9.4. Депоније и коришћење пепела	101	12.1.4. Извођење блокова у резерву	124
10. Пречишћавање и одвођење димних		12.2. Расподела оптерећења између блокова	124
гасова у атмосферу	103	12.3. Погонско билансирање	128
10.1. Увод	103	12.3.1. Одступања специфичне потрошње топлоте	130
10.2. Отпрашивање димних гасова	104	12.3.1.1. Одступања парног котла	130
10.2.1. Основна физичко-механичка својства пепела	104	12.3.1.2. Одступања турбопостројења	137
10.2.2. Отпрашивачи	104	12.3.1.3. Одступање због промене стварне сопствене потрошње	141
10.2.2.1. Суви отпрашивачи	104	12.3.1.4. Одступања због застоја блока	141
10.2.2.2. Мокри отпрашивачи	105	12.3.1.5. Остала одступања	142
10.2.2.3. Електрофилтри	106	12.3.2. Базна специфична потрошња топлоте	143
		12.3.3. Поступак погонског билансирања	144
		Литература	166

ЛИТЕРАТУРА

1. Казарновский Е. М.
РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕ-
ТОГО ПАРА В МОЩНЫХ ПАРОВЫХ КОТЛАХ
Металлургиздат, Москва, 1960
2. Картошкин М. Д.
ТОПЛИВОПОДАЧА ТЕПЛОВЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
Госэнергоиздат, Москва - Ленинград, 1961
3. Lévai A.
MASCHINENTECHNISCHE EINRICHTUNGEN
DERWAERMKRAFTWERKE, Band I
VEB Verlag, Leipzig, 1966
4. Ковалев А. П. и др.
ПАРОГЕНЕРАТОРЫ
Энергия, Москва - Ленинград, 1966
5. Шкроб М. С., Вихрев В. Ф.
ВОДОПОДГОТОВКА
Энергия, Москва - Ленинград, 1966
6. Елизаров Д. П.
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
Энергия, Москва, 1967
7. Сазанов Б. В. и др.
ПРОМИШЛЕННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
Энергия, Москва, 1967
8. Щегляев А. В.
ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ
Энергия, Москва, 1967
9. Doležal Richard
LARGE BOILER FURNACE
Elsevier Publishing Company, Amsterdam-London-
New York, 1967
10. Русанов А. А. и др.
ОЧИСТКА ДЫМВЫХ ГАЗОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ
ЭНЕРГЕТИКЕ
Энергия, Москва, 1969
11. Ђурић Војислав
ПАРНИ КОТЛОВИ - СВЕСКА 1
Грађевинска књига, Београд, 1969
12. Лебедев А. И.
ПОДГОТОВКА И РАЗМОЛ ТОПЛИВА НА ЭЛЕК-
ТРОСТАНЦИЯХ
Энергия, Москва, 1969
13. Стырикович М. А., Мартынова О. И. Мирополь-
ский З. Л.
ПРОЦЕССЫ ГЕНЕРАЦИИ ПАРА НА ЭЛЕКТРО-
СТАНЦИЯХ
Энергия, Москва, 1969
14. Ђурић В. и др.
ПАРНИ КОТЛОВИ - ПОСЕБНА ПОГЛАВЉА
БИГЗ, Београд, 1973
15. Гинзбург Л. Д. и др.
МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
Энергия, Москва, 1974
16. Linzer V., Fröhlich P., Leitner R.
PROBLEME BEI DER AUSLEGUNG GROSSER
ZWANGDURCHLAUF DAMPFERZEUGER
EVT Bericht, 23/74
17. Altman W.
PREDVIDANI TVORBY NANOSU NA STRANE SPALIN
V OHNIŠTICH PARNICH GENERATORU NA HNEDE
UHĽI
Energetika, Nr. 6, 1975, ČSSR
18. Маргулова Т. Х., Мартынова О. И.
ВОДНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
Высшая школа, Москва, 1977
19. Соколов Е. Я. и др.
ПРОМИШЛЕННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
Энергия, Москва, 1979
20. Плоткин Е. Р., Лейзерович А. Ш.
ПУСКОВЫЕ РЕЖИМЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН
ЕНЕГОБЛОКОВ
Энергия, Москва, 1980
21. Волков Э. П., Ведяев В. А., Обрезков В. И.
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
Энергоатомиздат, Москва, 1983
22. Купцов И. П., Иоффе Ю. Р.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО
ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
Энергоатомиздат, Москва, 1983
23. Гиршфелд В. Я., Морозов Г. Н.
ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ
Энергоатомиздат, Москва, 1986
24. Доброхотов В. И., Жгулев Г. В.
ЭКСПУАТАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БЛОКОВ
Энергоатомиздат, Москва, 1987
25. Волков Э. П. и др.
ГАЗОТВОДЯЩИЕ ТРУБЫ ТЭС И АЭС
Энергоатомиздат, Москва, 1987
26. Белосельский Б. С., Вдовченко В. С.
КОНТРОЛЬ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ЭЛЕК-
ТРОСТАНЦИЯХ
Энергоиздат, Москва, 1987

27. Померанцев В. В. и др.
САМОВЗГОРАНИЕ И ВЗРЫВЫ ПЫЛИ НАТУРАЛЬНЫХ ТОПЛИВ
Энергия, Ленинград, 1987
28. Радовановић М.
ПОГОНСКЕ МАТЕРИЈЕ, II ДЕО - ИНДУСТРИЈСКА ВОДА
Машински факултет, Београд, 1987
29. Арсенев Г. В. и др.
ТЕПЛОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ
Энергоатомиздат, Москва, 1988
30. Капелович Б. Э., Логинов И. Г.
ЭКСПУАТАЦИЈА И РЕМОТ ПАРОТУРБИНСКИХ УСТАНОВОК
Энергоатомиздат, Москва, 1988
31. Бузников Е. Ф., Верес А. А., Грибов В. Б.
ПАРОВОДОГРЕЙНИК КИТЛИ ДЛЈА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЈ И КОТЕЛНИХ
Энергоатомиздат, Москва, 1989
32. Беляев А. А.
РЕМОТ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
Энергоатомиздат, Москва, 1989
33. Баронов П. А.
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АВАРИЈ ПАРОВЫХ КОТЛОВ
Энергоатомиздат, Москва, 1991
34. Ђајић Ненад
ЕНЕРГЕТСКИ ИЗВОРИ И ПОСТРОЈЕЊА
Рударско-геолошки факултет, Београд, 1992
35. ВЕК ЭЛЕКТРИКЕ
Электропривреда Србије, Београд, 1993
36. Радовановић М.
ГОРИВА
Машински факултет, Београд, 1994
37. Љ. Бркић, Т. Живановић
ПАРНИ КОТЛОВИ
Машински факултет, Београд, 1997