

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

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



**ТЕРМИЧКИ ПРОРАЧУН
ПАРНИХ КОТЛОВА**

**БЕОГРАД
2015.**

Аутори:

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

ТЕРМИЧКИ ПРОРАЧУН ПАРНИХ КОТЛОВА

Пето издање

Рецензенти:

Др Панто Перуновић, редовни професор у пензији
Др Милован Студовић, 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 30/2015 од 09.11.2015. године

Штампа:

ПЛАНЕТА ПРИНТ
11000 Београд,

Тираж: 200 примерака

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.18:536.8(075.8)

БРКИЋ, Љубиша, 1938-

Термички прорачун парних котлова / Љ.
[Љубиша] Бркић, Т.[Титослав] Живановић, Д.
[Драган] Туцаковић. - 5. изд. - Београд :
Машински факултет Универзитета, 2015
(Београд : Планета принт). - 237 стр. :
граф. прикази, табеле ; 30 cm

Тираж 200. - Библиографија: стр. 237.

ISBN 978-86-7083-887-1

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

COBISS.SR-ID 219541516

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Љ. Бркић
Т. Живановић
Д. Туцаковић

ТЕРМИЧКИ ПРОРАЧУН ПАРНИХ КОТЛОВА

ПЕТО ИЗДАЊЕ

Београд
2015.

ПРЕДГОВОР

У другом издању ове књиге су, поред приказа термичког прорачуна парних котлова заснованог на методологији научно-истраживачке организације ЦКТИ [1] који се садржи у првом издању, приказани и прорачун ложишта парних котлова према условима спречавања зашљакивања и условима догоревања угљеног праха [9], као и зонални прорачун ложишта парних котлова са модификованим системом припреме угљеног праха [10].

Имајући у виду да домаћи угљеви не захтевају примену ложишта са одвођењем шљаке у течном стању, из овог издања изостављено је поглавље о прорачуну размене топлоте у двокоморним ложиштима парних котлова, као и напомене у осталом делу текста које се односе на овај прорачун.

Графички део књиге је смањен, јер су у овом издању, имајући у виду развој рачунске технике, изостављени номограми за одређивање појединих величина израђени на основу образаца из текста.

Прилог III је проширен тако што су, осим примера термичког прорачуна енергетског парног котла датог и у првом издању, приказани и примери прорачуна тог истог прорачуна зоналном методом [10] и конструктивном методом [9], као и пример прорачуна регенеративног ротационог загрејача ваздуха.

У четвртој, допуњеној и измењеној издању промењен је изглед предње стране књиге. У књизи су учињене још и ситуије исправке текста које су уследиле због промене цитираних прописа. Исто тако, исправљене су и уочене штампарске и друге грешке. Пето издање ове књиге није претрпело измене у односу на претходно, четврто издање.

Као и прво, и ово пето издање је намењено студентима Модула за термотехнику и Модула за термоенергетику Машинског факултета Универзитета у Београду са циљем да им олакша праћење наставе и израду пројекта и рачунског дела испита из групе предмета Парни котлови, али се, исто тако, њоме могу користити и студенти других факултета чији план и програм обухвата термички прорачун парних котлова. Поред тога, предвиђени обим материје је довољан да може корисно да послужи и стручњацима који раде на пројектовању парних котлова.

Захваљујемо се и овај пут др Панту Перуновићу, професору у пензији и др Миловану Студовићу, професору у пензији на низу стручних савета и свесрдној помоћи коју су нам пружили током израде ове књиге.

Изузетан труд да књига има висок технички ниво уложила је Лепосава Радојковић, због чега јој се и овом приликом захваљујемо.

Љ. Бркић
Т. Живановић
Д. Туцаковић

САДРЖАЈ

1. Увод	7		
2. Гориво	9	честице	46
2.1. Чврсто и течно гориво	9	6.5.2.3. Време сагоревања	47
2.1.1. Топлотна моћ	9	6.5.3. Губитак услед механичке непотпу-	
2.1.2. Разне масе горива и прерачунавање		ности сагоревања	50
са једне масе на другу	9	6.6. Зонални термички прорачун ложишта	
2.1.3. Класификација угља	10	са модификованим системом припреме	
2.1.4. Класификација течног горива	11	угљеног праха	50
2.2. Гасовито гориво	12	6.6.1. Коefицијенти вишка ваздуха	51
2.3. Мешавине горива	13	6.6.2. Биланс димних гасова у ложишту	52
2.4. Карактеристике горива	14	6.6.3. Теоријска температура примарне	
3. Физичке карактеристике радних		и секундарне зоне	53
 медијума парног котла	15	6.6.4. Температуре димних гасова на	
4. Запремине и енталпије ваздуха		крају појединих зона	54
 и продуката сагоревања	17	6.6.4.1. Температура димних гасова на	
4.1. Израчунавање запремина и енталпија	17	крају примарне зоне	54
4.2. Коefицијент вишка ваздуха и његови при-		6.6.4.2. Температура димних гасова на	
раштаји у гасном тракту парног котла	21	крају секундарне зоне	55
5. Топлотни биланс парног котла	23	6.6.4.3. Температура димних гасова на	
6. Прорачун размене топлоте		крају рецикулационе зоне	56
у ложишту	27	6.6.5. Начини одређивања појединих	
6.1. Геометријске карактеристике ложишта	27	величина	57
6.1.1. Запремина ложишта	27	7. Прорачун конвективних и полуозра-	
6.1.2. Површина зидова ложишта	27	чених грејних површина	59
6.1.3. Озрачена грејна површина	30	7.1. Основне једначине	59
6.1.4. Дебљина гасног слоја	30	7.1.1. Једначина размене топлоте	59
6.2. Степен црноће пламена	30	7.1.2. Једначина топлотног биланса	59
6.2.1. Степен црноће пламена гасовитог		7.1.2.1. Количина топлоте дозрачена	
и течног горива	31	из ложишта	60
6.2.2. Степен црноће пламена чврстог		7.2. Коefицијент пролаза топлоте	61
горива	32	7.2.1. Коefицијент прелаза топлоте	
6.2.3. Степен црноће пламена мешавине		конвекцијом	63
горива	32	7.2.1.1. Брзина струјања	63
6.2.4. Коefицијенти неравномерне освет-		7.2.1.2. Површина пресека	64
љености полуозрачених прегрејача		7.2.1.3. Рачунска температура гасова	65
и припадајућих екрана	33	7.2.1.4. Коefицијент прелаза топлоте	
6.3. Прорачун размене топлоте у једнокомор-		при попречном наструјавању	65
ним и полуотвореним ложиштима	34	7.2.1.5. Коefицијент прелаза топлоте	
6.3.1. Теоријска температура гасова	34	при уздужном наструјавању	67
6.3.2. Коefицијент температурског поља		7.2.2. Коefицијент прелаза топлоте зра-	
у ложишту	35	чењем продуката сагоревања	70
6.3.3. Степен црноће ложишта	37	7.2.2.1. Коefицијент прелаза топлоте	
6.3.4. Степен топлотне ефикасности		зрачењем	70
екрана	37	7.2.2.2. Температура зида цеви	71
6.3.5. Термички прорачун ложишта при		7.2.2.3. Прорачун зрачења гасне	
сагоревању мешавине горива	38	запремине	72
6.4. Зонални термички прорачун ложишта	38	7.2.3. Коefицијент пролаза топлоте греј-	
6.5. Димензионисање ложишта према усло-		них површина са уздужним и попреч-	
вима спречавања зашљакивања и дого-		ним ребрима	73
ревања угљеног праха	42	7.2.3.1. Оребрени загрејачи воде	73
6.5.1. Висина активне зоне	43	7.2.3.2. Загрејачи воде са уздужним	
6.5.2. Висина зоне догоревања	45	ребрима	73
6.5.2.1. Средња брзина димних гасова		7.2.3.3. Оребрени загрејачи ваздуха	73
у ложишту	45	7.2.3.4. Плочасти загрејачи ваздуха	74
6.5.2.2. Брзина лебдења најкрупније		7.2.3.5. Настандардни оребрени	
		елементи	74
		7.2.4. Коefицијент запрљаности, коefици-	
		јент искоришћења и степен топлотне	
		ефикасности грејних површина	76

7.2.4.1. Чврсто гориво	76	9.2. Грејне површине	102
7.2.4.2. Течно гориво	78	9.2.1. Опште напомене	102
7.2.4.3. Гасовито гориво	79	9.2.1.1. Температура излазних гасова	102
7.2.4.4. Опште напомене	79	9.2.1.2. Температура загрејаног ваздуха	104
7.3. Средња температурска разлика	80	9.2.1.3. Брзина гасова	104
7.3.1. Супротносмерно и истосмерно струјање	80	9.2.1.4. Корак и пречник цеви	105
7.3.2. Комбиновано струјање	81	9.2.2. Прегрејачи паре и цевни снопови испаривача	106
7.3.2.1. Наизменично комбиновано струјање	81	9.2.3. Загрејачи воде и прелазне зоне	107
7.3.2.2. Паралелно комбиновано струјање	81	9.2.4. Загрејачи ваздуха	107
7.3.2.3. Унакрсно струјање	83	10. Упутства за пројектовање и прора- чун хладњака паре и размењивача	
7.3.2.4. Остали начини струјања	84	топлоте	109
7.3.2.5. Одређивање средње темпера- турске разлике при већим про- менама топлотног капацитета	84	10.1. Хладњаци са убризгавањем	109
8. Препоруке за термички прорачун парног котла	86	10.2. Размењивачи топлоте пара-пара (бифлукс)	109
8.1. Ток и редослед прорачуна	86	10.3. Размењивачи топлоте димни гасови-пара- пара (трифлукс)	110
8.1.1. Опште напомене	86	10.4. Размењивачи топлоте за добијање ”сопственог” кондензата и површин- ски хладњаци	111
8.1.2. Конвективне грејне површине	86	11. Прорачун загрејача ваздуха са пос- редним предајником топлоте	114
8.1.3. Парни котлови са накнадним греј- ним површинама у једном ступњу	87	Прилог I	
8.1.4. Парни котлови са накнадним греј- ним површинама у два ступња	88	Табеле	115
8.1.5. Прорачун допунских грејних површина	89	Садржај	116
8.1.6. Редослед представљања тока прорачуна	89	Прилог II	
8.2. Прорачун ложишта	90	Номограми	139
8.3. Прорачун прегрејача паре	90	Списак номограма	140
8.4. Прорачун прелазних зона проточних котлова	93	Прилог III	
8.5. Прорачун конвективних цевних снопова и цевних решетки	93	Примери термичког прорачуна	173
8.6. Прорачун накнадног прегрејача	94	Садржај	174
8.7. Прорачун загрејача воде	94	P.1. Прорачун парног котла са прорачуном ложишта по интегралној методи	175
8.8. Прорачун загрејача ваздуха	95	P.2. Прорачун ложишта парног котла са модификованим системом припреме угљеног праха по зоналној методи	222
9. Кратка упутства за пројектовање ложишта и грејних површина	97	P.3. Прорачун ложишта према условима спречавања зашљакивања и догоре- вања угљеног праха	227
9.1. Ложишта	97	P.4. Прорачун регенеративног ротационог загрејача ваздуха	231
9.1.1. Ложишта са сагоревањем у слоју	97	Литература	237
9.1.2. Ложишта са сагоревањем у лету	99		
9.1.2.1. Чврста горива	99		
9.1.2.2. Течна и гасовита горива	101		

ЛИТЕРАТУРА

1. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ - НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД
Энергия, Москва, 1973
2. Ђурић В.
ПАРНИ КОТЛОВИ - СВЕСКА 1
Грађевинска књига, Београд, 1969
3. Gulić M., Brkić Lj., Perunović P.
PARNI KOTLOVI
Mašinski fakultet, Beograd, 1991
4. Вукалович М. П.
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА
Машиностроение, Москва, 1967
5. Ražnjević K.
ТОПЛИНСКЕ ТАБЛИЦЕ I DIJAGRAMI
"Đuro Đaković", Slavonski Brod, 1964
6. Козић Ђ., Бекавац В.
ПРИРУЧНИК ЗА ТЕРМОДИНАМИКУ
Машински факултет, Београд, 1967
7. Gumz W.
KURZES HANDBUCH DER BRENNSTOFF- UND FEUERUNGSTECHNIK
Springer Verlag, Berlin, 1942
8. Гольберг А. И., Корягин В. С., Мочан С. И., Тынтарев Э. М.
РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕЛЬНОСВАРНЫХ ЭКРАНОВ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ
Энергия, Ленинград, 1975
9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОПОК С ТВЕРДЫМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ (дополнение к Нормативному методу теплового расчета котельных агрегатов) - РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
Ленинград, 1981
10. Бркић Љ.
ЗОНАЛНИ ТЕРМИЧКИ ПРОРАЧУН ПАРНОГ КОТЛА СА МОДИФИКОВАНИМ СИСТЕМОМ ПРИПРЕМЕ УГЉЕНОГ ПРАХА
Техника - Машинство 38 (1989), 541 - 547
11. Двойнишников В. А., Деев Л. В., Изюмов М. А.
КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ КОТЛОВ И КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
Машиностроение, Москва, 1988
12. Канторович Б. В.
ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ И ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА
Академия наук СССР, Москва, 1958
13. Кутателадзе С. С.
ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛООБМЕНА
Атомиздат, Москва, 1979
14. Левченко Г. И., Лисейкин И. Д., Копелиович А. М., Мигай В. К., Назаренко В. С.
ОРЕБРЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА ПАРОВЫХ КОТЛОВ
Энергоатомиздат, Москва, 1986
15. Радовановић М.
ГОРИВА
Машински факултет, Београд, 1994
16. Резняков А. Б. и др.
ГОРЕНИЕ НАТУРАЛЬНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА
Наука, Алма Ата, 1968
17. Роддатис К. Ф.
КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ
Энергия, Москва, 1977
18. Сидельковский Л. Н., Юренев Б. И.
КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
Энергоатомиздат, Москва, 1988
19. Стырикович М. А., Катковская К. Я., Серов Е. П.
КОТЕЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ
Гсэнергоиздат, Москва - Ленинград, 1958
20. Хзмалян Д. М., Каган Я. А.
ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА
Энергия, Москва, 1976