

Универзитет у Београду
Машински факултет

ДИФУЗИОНЕ ОПЕРАЦИЈЕ
И АПАРАТИ
Део 1: Основи транспорта супстанције

Бранислав М. Јаћимовић
Србислав Б. Генић

Друго издање, 2019.

Аутори

Проф. др Бранислав М. Јаћимовић, дипл. инж. маш.

Проф. др Србислав Б. Генић, дипл. инж. маш.

Назив књиге

ДИФУЗИОНЕ ОПЕРАЦИЈЕ И АПАРАТИ

Део 1: Основи транспорта супстанције

Друго издање, 2019.

Рецензенти

Проф. др Дорин Леља, дипл. инж. маш., Универзитета Политехника у Темишвару (Румунија) – Машински факултет

Доц. др Мирјана Стаменић, дипл. инж. маш., Универзитет у Београду – Машински факултет

Доц. др Урош Милованчевић, дипл. инж. маш., Универзитет у Београду – Машински факултет

Лектор

Наташа Лекић Марковић, проф. српског језика и књижевности

Издавач

Универзитет у Београду – Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, Србија

За издавача

Декан проф. др Радивоје Митровић, дипл. инж. маш.

Главни и одговорни уредник

Проф. др Милан Лечић, дипл. инж. маш.

Одобрено за штампу одлуком Декана Машинског факултета Универзитета у Београду, бр. 20/2018 од 20. 09. 2018. године

Тираж

200 примерака

Штампа

ПЛАНЕТА ПРИНТ, Виноградски венац 9, Београд

ИСБН 978–86–7083–989–2

Забрањено прештампавање, скенирање или фотокопирање.

Сва права задржавају издавач и аутори.

ПРЕДГОВОР ДРУГОМ ИЗДАЊУ

Након 11 година од првог издања књиге о транспорту супстанције у процесним индустријама, те након 10 година подучавања студената о овој материји кроз предмет Процесни феномени дошло је време за издавање новог издања књиге. У новом издању потрудили смо се да исправимо уочене штампарске и друге грешке из претходног издања, те да освежимо текст у неким деловима.

Захваљујемо се на добронамерним сугестијама бројним колегама, а посебно рецензентима, професору др Дорину Лељи и доцентима др Мирјани Стаменић и др Урошу Милованчевићу, који су савесним прегледом рукописа и инвентивним сугестијама допринели квалитету књиге.

Фебруар 2019.

Аутори

ПРЕДГОВОР ПРВОМ ИЗДАЊУ

Пре нешто више од једног века дошло је до снажног развоја процесне индустрије, који је био обележен пре свега експлоатацијом нафтних извора и прерадом нафте. Поред ове области у то време се појавио и индустријски развој производње хемијских једињења, лекова, војних материјала (барута и експлозивних средстава), хране, алкохолних пића, итд. Паралелно са развојем индустрије појавила се потреба систематског проучавања процесних операција и апарата у којима долази до транспорта супстанције. Многа велика имена научног и инжењерског света су оставила траг у области дифузионих операција и апарата (А. Р. Colburn, Т. К. Sherwood, W. K. Lewis, W. G. Whitman, В. В. Кафаров, В. М. Рамм и многи други).

Први део књиге о дифузионим операцијама и апаратима је у потпуности посвећен транспорту супстанције. Ова материја се на Машинском факултету Универзитета у Београду предаје практично од оснивања Одсека за процесну технику кроз низ предмета (Технолошки апарати, Технолошки и дифузиони апарати, Дифузионе операције, Топлотни и дифузиони апарати). Књига је намењена првенствено студентима Одсека за процесну технику и заштиту животне средине на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Систематизација материје је извршена према важећим светским критеријумима, при чему смо сматрали да читалац поседује основна знања из фундаменталних дисциплина као што су, пре свих, термодинамика и механика флуида. Извори који су коришћени при изради ове књиге обухватају класичну и савремену литературу у овој области, као и сопствена искуства стечена кроз дугогодишњи рад. На крају сваког поглавља дат је преглед коришћене литературе која може да користи као путоказ читаоцу за самостално проширивање знања.

Захваљујемо се свима који су помогли стварање ове књиге, а посебно рецензентима, професору др Францу Косију, дипл. инж. маш. и доценту др Дејану Радићу, дипл. инж. маш., који су савесним прегледом рукописа и инвентивним сугестијама допринели квалитету књиге.

Септембар 2007.

Аутори

САДРЖАЈ

1	ОСНОВНИ ПОЈМОВИ ВЕЗАНИ ЗА ТРАНСПОРТ СУПСТАНЦИЈЕ	1–1
1.1	Изражавање састава вишекомпонентних фаза (мешавина)	1–2
1.1.1	Изражавање састава мешавина у течном агрегатном стању	1–5
1.1.2	Изражавање састава мешавина у чврстом агрегатном стању	1–8
1.1.3	Изражавање састава мешавина у гасовитом агрегатном стању	1–10
1.2	Равнотежа у вишекомпонентним системима	1–15
1.2.1	Идеални и неидеални раствори	1–18
1.2.2	Термодинамички опис равнотежног стања	1–20
1.2.3	Равнотежа у двофазном једнокомпонентном систему пара – течност	1–21
1.2.4	Равнотежа у двофазном вишекомпонентном систему гас (пара) – течност	1–24
1.2.5	Равнотежа у двофазном трокомпонентном систему гас – течност	1–35
1.2.6	Равнотежа у двофазном вишекомпонентном систему течност – течност	1–37
1.2.7	Равнотежа у двофазном вишекомпонентном систему флуид – чврста фаза	1–42
2	МОЛЕКУЛАРНА ДИФУЗИЈА У ФЛУИДИМА	2–1
2.1	Фиков закон молекуларне дифузије	2–2
2.2	Стационарна молекуларна дифузија у флуидима	2–3
2.2.1	Стационарна еквимоларна супротносмерна дифузија	2–6
2.2.2	Стационарна дифузија компоненте А кроз стагнант В	2–8
2.2.3	Стационарна дифузија компоненте А кроз мешавину А+В са хемијском реакцијом на граници фаза	2–11
2.2.4	Карактеристично изражавање молекуларне дифузије у гасовима	2–14
2.2.5	Карактеристично изражавање молекуларне дифузије у течностима	2–21
2.3	Нестационарна молекуларна дифузија у флуидима	2–23
2.4	Израчунавање коефицијента дифузије у гасовима	2–28
2.5	Израчунавање коефицијента дифузије у течностима	2–38
3	КОНВЕКТИВНА ДИФУЗИЈА	3–1
3.1	Упрошћени модели конвективне дифузије	3–2
3.1.1	Филмски модел	3–2
3.1.2	Пенетрациони модел	3–11
3.1.3	Модел обнављања површине контакта	3–13
3.1.4	Експериментална потврда упрошћених модела конвективне дифузије	3–13
3.2	Теорија сличности	3–14
3.2.1	Сличност физичких појава	3–14

3.2.2	Теореме теорије сличности	3–16
3.2.3	Критеријуми сличности и критеријалне једначине при транспорту количине кретања	3–17
3.2.4	Критеријуми сличности и критеријалне једначине за размену топлоте	3–25
3.2.5	Критеријуми сличности и критеријалне једначине за размену супстанције	3–28
3.2.6	Транспорт при турбулентном струјању флуида	3–35
3.2.7	Аналогија преноса количине кретања, прелаза топлоте и прелаза супстанције	3–38
3.3	Конвективни транспорт супстанције у систему без чврсте фазе	3–42
3.3.1	Конвективна дифузија у вишекомпонентним мешавинама	3–49
3.3.2	Међуфазна турбуленција	3–54
3.4	Истовремени транспорт топлоте и супстанције	3–55
3.4.1	Температура по влажном термометру	3–64
4	ДИФУЗИЈА У ЧВРСТОЈ ФАЗИ	4–1
4.1	Стационарно провођење супстанције	4–1
4.2	Нестационарно провођење супстанције	4–3
4.2.1	Одређивање бездимензионе промене концентрације за неколико основних геометријских облика када су отпори транспорту супстанције са граничне површине у околни флуид занемарљиво мали	4–4
4.3	Механизми дифузије кроз чврсту фазу	4–13
4.3.1	Дифузија кроз супстанције са кристалном структуром	4–13
4.3.2	Дифузија кроз полимере	4–13
4.3.3	Дифузија кроз порозна чврста тела	4–19
4.3.4	Површинска дифузија	4–30
	ПРИЛОЗИ	
П1	Коефицијенти за Антоанову једначину	П–1
П2	Хенријева константа за водене растворе	П–2
П3	Коефицијент дифузије у гасовима	П–3
П4	Коефицијент дифузије у води	П–5
П5	Коефицијент дифузије у органским растварачима	П–7
П6	Дефинисање материјалног диференцијала	П–8
П7	Својства гасовитих мешавина	П–9
П8	Својства течних мешавина	П–10
П9	Критеријалне једначине за израчунавање коефицијента отпора струјању, коефицијента прелаза топлоте и коефицијента прелаза супстанције	П–11
П9–1	Струјање преко равне површине	П–11
П9–2	Опструјавање усамљене сфере	П–12
П9–3	Опструјавање усамљеног цилиндра	П–13
П9–4	Струјање кроз кружне цеви	П–14
П9–5	Прострујавање кроз слој испуне	П–15
П10	Коефицијент дифузије у чврстој фази са кристалном структуром	П–16

П11	Коефицијент дифузије гасова кроз полимере	П-17
П12	Пермеабилност полимера за гасове	П-18
П13	Пермеабилност полимера за течности	П-19
П14	Коефицијент дифузије водене паре кроз грађевинске материјале	П-20